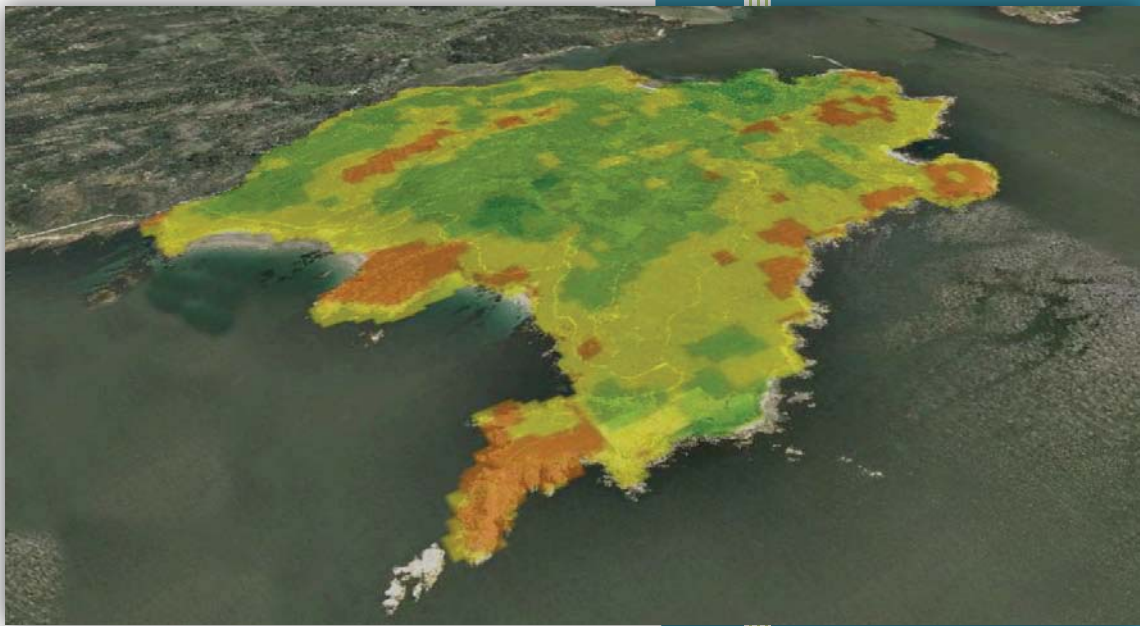


# TFM

## Calidad y fragilidad visual del paisaje: MCE, fuzzy logic y GIS.



Víctor Estévez González  
Luis Garmendia Salvador  
Juan Carlos García Palomares

28 de Junio de 2012

### **Autorización de difusión.**

El abajo firmante, matriculado en el Máster de Tecnologías de la Información Geográfica de la Facultad de Geografía e Historia, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor, el presente trabajo de fin de máster, realizado bajo la dirección de Juan Carlos García Palomares y Luis Garmendia Salvador. Así mismo, se autoriza también a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en formato digital en el Archivo Institucional E-Prints Complutense.

## Resumen.

El presente trabajo propone una metodología capaz de integrar la calidad y fragilidad visual mediante SIG.

Esta metodología trata de objetivizar el difuso concepto del paisaje. Evitando la subjetividad propia de este concepto, se podrá incorporar en un futuro a planes de ordenación territorial, evaluaciones de impacto ambiental, etc.

Se realizan dos enfoques diferentes de la misma metodología, por un lado mediante evaluación multicriterio y suma lineal ponderada y por otro mediante lógica borrosa.

Además, se desarrolla una herramienta en ArcGis 10 para facilitar su aplicabilidad y usabilidad.

## *Palabras Clave*

SIG, fragilidad visual, calidad visual, modelbuilder, lógica borrosa, evaluacion multicriterio, suma lineal ponderada, paisaje, fragilidad visual intrínseca, fragilidad visual adquirida.

## Índice

1. PRESENTACIÓN.....	4
1.1. OBJETIVOS .....	5
1.2 ÁREAS DE ESTUDIO.....	5
2. ESTADO DEL ARTE. ....	8
2.1. CALIDAD Y FRAGILIDAD VISUAL DEL PAISAJE.....	8
2.2. MCE Y SUMA LINEAL PONDERADA.....	17
2.3. FUZZY LOGIC.....	19
3. FUENTES Y METODOLOGÍA .....	21
3.1 FUENTES EMPLEADAS. ....	21
3.2 METODOLOGÍA DE VALORACIÓN PAISAJISTICA.....	22
4. RESULTADOS .....	41
5. CONCLUSIONES. ....	49
6. REFERENCIAS.....	52
ANEXO 1. Herramientas usadas de ArcGis.....	54
ANEXO 2. Análisis estadístico de la zonificación.....	62
ANEXO 3. Cartografía resumen. ....	66

## Lista de tablas y figuras.

TABLA 1. TÉRMINOS EMPLEADOS EN LA DEFINICIÓN DE PAISAJE. M. TVEIT ET AL (2006)

TABLA 2. RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE SLP EN SANXENXO.

ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 3. RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE FUZZY LOGIC EN SANXENXO.

ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 4. RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE SLP EN SAN FERNANDO.

ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 5. RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE FUZZY LOGIC EN SAN FERNANDO.

ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 6 .MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 7 .MATRIZ DE EIGENVALUES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 8 .MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO.. ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 9 .MATRIZ DE EIGENVALUES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO.. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 1. VALORACIÓN DE CALIDAD VISUAL SEGÚN MONTOYA AYALA (2003)

FIGURA 2. VALORACIÓN DE FRAGILIDAD VISUAL SEGÚN MONTOYA AYALA (2003)

FIGURA 3. TÉCNICAS EMC. GÓMEZ BARREDO (2005)

FIGURA 4. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 5. NATURALIDAD EN CAMARIÑAS. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 6. DISTANCIAS A ZONAS DE ALTO VALOR EN CAMARIÑAS. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 7. DISTANCIAS A ZONAS DE BAJO VALOR EN CAMARIÑAS. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 8. CROMATICIDAD EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 9. FOTO DE LA PUESTA DE SOL EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 10. IMAGEN DE LA ARCTOOLBOX DESARROLADA PARA SLP. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 11. MODELO DE PREPARACIÓN DE PUNTOS. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 12. DETALLE DEL MODELO DE PREPARACIÓN DE PUNTOS. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 13. MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 14. DETALLE ITERACIÓN DEL VIEWSHEED DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 15. DETALLE ITERACIÓN DEL SUMATORIO DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 16. IMAGEN DE LA NATURALIDAD MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 17. IMAGEN DE LA DISTANCIA A ZONAS DE ALTO VALOR MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 18. IMAGEN DE LA DIVERSIDAD DE USOS MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 19. IMAGEN DE LAS EXPOSICIONES MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 20. IMAGEN DE LAS PENDIENTES MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 21. DEFUZZIFICATION EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 22. IMAGEN DE LA ARCTOOLBOX DESARROLADA PARA LA FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 23. IMAGEN ILUSTRATIVA DE LAS EXPOSICIONES SOLARES. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 24. IMAGEN ILUSTRATIVA DE UN VIEWSHEED. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 25. IMAGEN ILUSTRATIVA DE UN MODELO REALIZADO CON MODEL BUILDER. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 26. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY GAUSSIANA. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 27. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY LARGE. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 28. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY LINEAL. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 29. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY NEAR. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 30. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY SMALL. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

FIGURA 31 .RESUMEN DE ESTUDIO DE CORRELACIÓN PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO.. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 32. PROYECCIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 33. PROYECCIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

## 1. PRESENTACIÓN

Partiendo del hecho de que el paisaje es uno de los recursos naturales que hoy en día tiene una mayor importancia ecológica y demanda social, se debe considerar que las actuaciones sobre el mismo tienen una incidencia de ámbito territorial que trasciende la propia labor técnica. La correcta gestión del paisaje impone que las actuaciones que le afectan deban justificarse, y fijar unos criterios para que las actuaciones se adapten al medio sin cambiar o degradar su carácter. Esta importancia del paisaje queda reflejada en Florencia en el año 2000 en el Convenio Europeo de Paisaje, estableciendo promover la protección, gestión y ordenación de los paisajes, así como organizar la cooperación europea en ese campo.

Siguiendo una metodología de análisis y evaluación del paisaje, es posible obtener conclusiones útiles para integrar visualmente las actuaciones en su contexto territorial, ya sea su inclusión en un plan de ordenación o simplemente a la hora de implantar una industria en un lugar donde su impacto visual sea el menor posible, además de ser uno de los factores más importantes a la hora de realizar una evaluación de impacto ambiental.

Para evaluar el paisaje en este trabajo se trata de valorar objetivamente la calidad y la fragilidad visual del paisaje. La calidad del paisaje depende de los usos y actuaciones que se desarrollan. Es un concepto más subjetivo que la fragilidad visual, que tiene en cuenta la cantidad de observadores potenciales de la zona.

El desarrollo exponencial de este software GIS ha sido un pilar fundamental en muchos campos del saber desde geomarketing, planes de accesibilidad, gestión medioambiental, gestión de redes, transporte...además de suponer un antes y un después en catastro y ordenación territorial.

Este tipo de análisis sería impensable sin la potencia de análisis de los GIS. Gracias a este software no solo podemos representar la realidad que nos rodea, si no que también, podemos realizar análisis que antes se desarrollaban a nivel teórico o con nula precisión, por ejemplo el uso de las cuencas visuales y su ponderación en función de los observadores potenciales.

## 1.1. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una metodología que permitan integrar la valoración del paisaje en los procesos como la de planificación física y ordenación del territorio. Para ellos se intenta evitar la subjetividad propia de un concepto tan abstracto como es el de paisaje. Esta subjetividad está presente en la mayoría de trabajos relacionados. En este trabajo se incorpora las cuencas visuales ponderadas para ganar objetividad en el análisis.

Para conseguirlo, podemos diferenciar una serie de objetivos particulares:

- Analizar y estudiar propuestas por realizadas por otros autores.
- Aplicar conceptos de MCE (evaluación multicriterio) y SLP (suma lineal ponderada).
- Incorporar enfoque con fuzzy logic a MCE.
- Crear herramienta para ArcGis 10 para facilitar su aplicabilidad y usabilidad.
- Aplicar metodología a dos áreas de estudio diferentes.
- Comparar y contrastar resultados obtenidos.

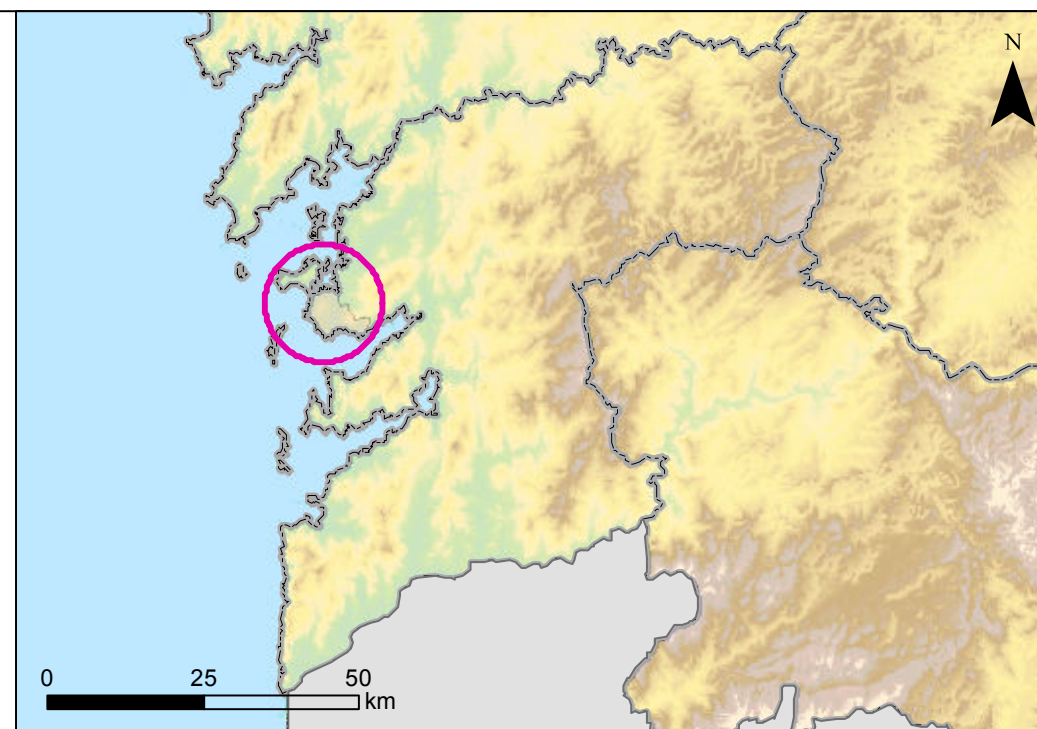
## 1.2 ÁREAS DE ESTUDIO.

Se eligió para el estudio dos municipios muy diferentes entre ellos:

- Sanxenxo (Galicia): se eligió debido a la calidad paisajística que presenta la zona por ser un municipio costero. La presión entrópica generada en este municipio es mínima. Cuenta con una población de 17.586 personas lo que en sus 44 km<sup>2</sup> implica una densidad poblacional de 400 personas el km<sup>2</sup>.
- San Fernando de Henares (Madrid): se eligió debido a la cercanía de importantes carreteras y núcleos de población. Al contrario que en el municipio gallego, la presión sobre este municipio es mucho mayor, casi duplicando su población en algo menos de superficie.

A continuación los planos de situación de ambas zonas:





Municipio: Sanxenxo

Provincia: Pontevedra

Población: 17.586 habitantes

Densidad: 400 personas/ km<sup>2</sup>

Superfície: 44 km<sup>2</sup>

## Leyenda

● Ciudades importantes **MDT**

 Sanxenxo

 Limite Provincial

Alturas (m)

- 3488

-2

## Carreteras

— Autovías

Área de estudio

**Bahías, estrechos** Bahía de Alcúdia

Salientes costeros Cabo Silleiro

Playas Playa de Samil

Sierras Sierra Lindón

Picos	Corralejo (2044)
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

Valles Valle de Kanpezu

Regiones, comarcas **Campoo**

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

### Situación municipio de Sanxenxo

Esca la:

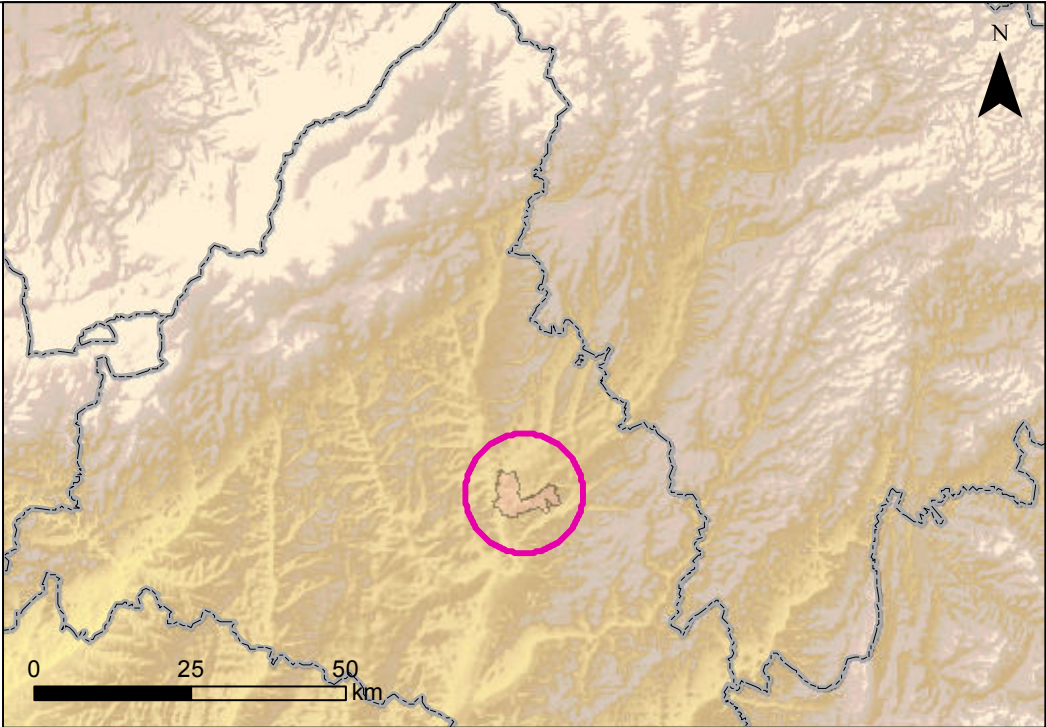
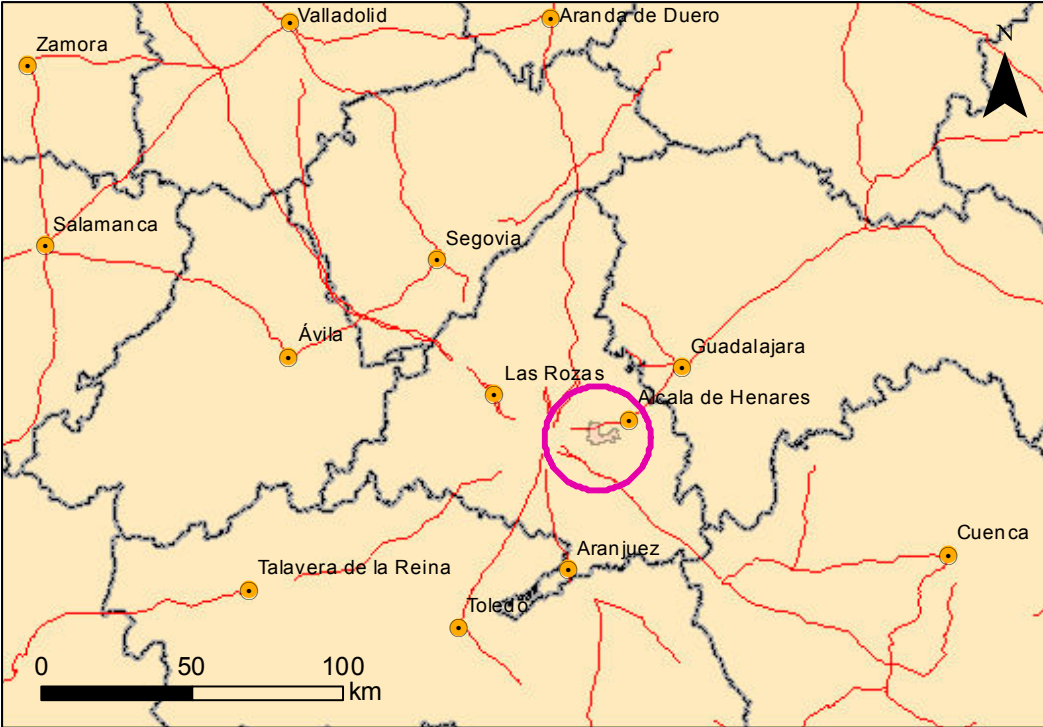
la:	Formato:
Varias	

3	Proyección: ETRS 1989
---	--------------------------

Fuente: Eleboración propia / IGN.







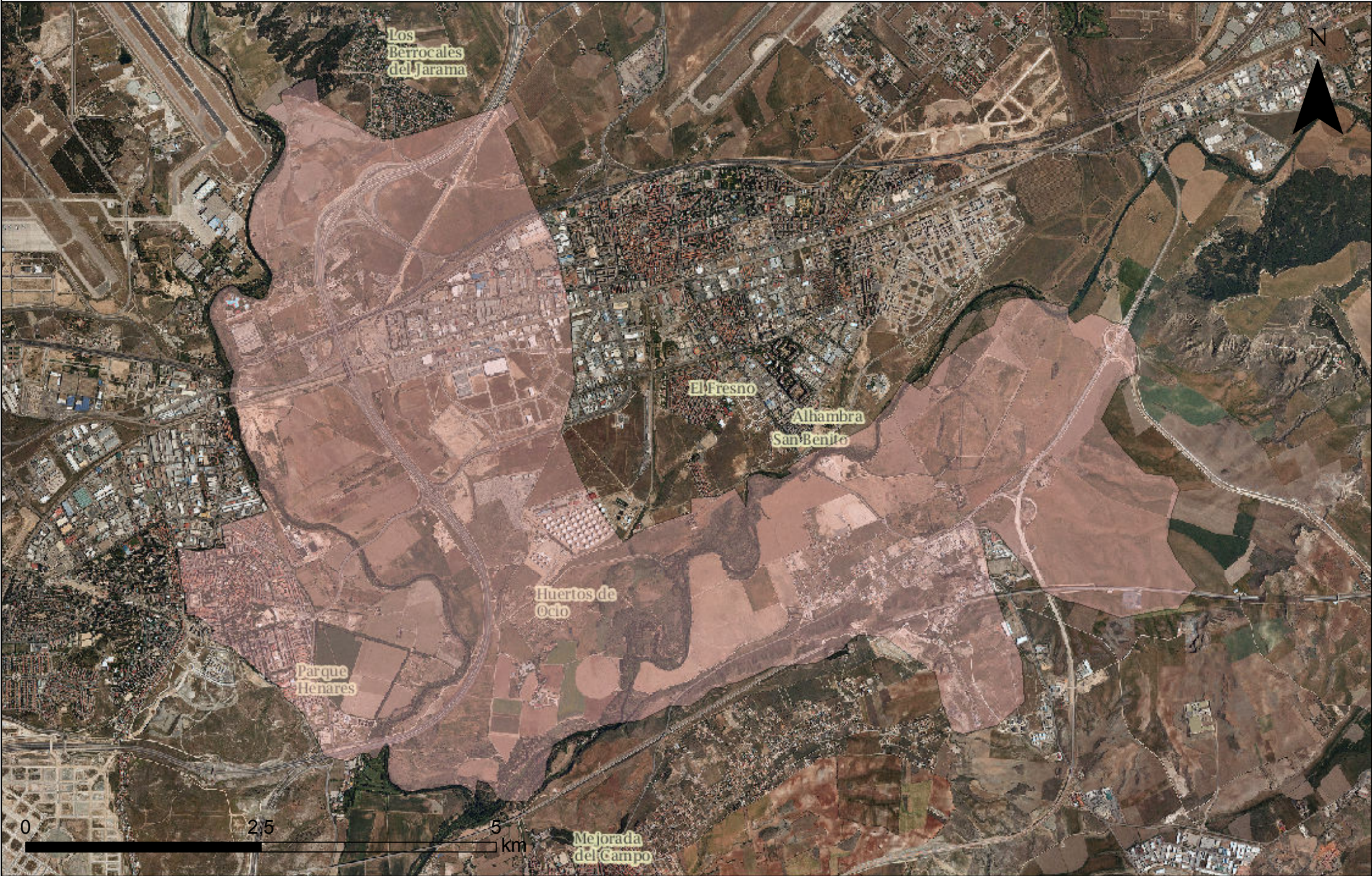
Municipio: San Fernando de Henares

Provincia: Madrid

Población: 13.380 habitantes

Densidad: 1053 personas/ km<sup>2</sup>

Superficie: 40 km<sup>2</sup>



**Leyenda**

- Ciudades importantes MDT
- San Fernando
- Limite Provincial
- Alturas (m)
  - 3488
  - 2
- Carreteras
  - Autovías
- Área de estudio

- Bahías, estrechos Bahía de Alcúdia
- Salientes costeros Cabo Silleiro
- Playas Playa de Samil
- Sierras Sierra Lindón
- Picos Corralejo (2044)
- Valles Valle de Kanpezu
- Regiones, comarcas Campoo

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Situación municipio de San Fernando

Escala:	Formato:	Proyección:	Fuente:
Varias	DIN A3	ETRS 1989	Elaboración propia / IGN.





## 2. ESTADO DEL ARTE.

### 2.1. CALIDAD Y FRAGILIDAD VISUAL DEL PAISAJE

El paisaje es una realidad amplia que necesita estudios de muy diversos tipos. Por ello, es preciso aceptar la polivalencia del término y tratarlo con flexibilidad (**Ramos, 1986**).

El siguiente extracto de la tabla de **M. Tveit et al (2006)** muestra esta gran diversidad de términos para tener en cuenta para su definición:

Concept	Synonyms	References
Stewardship	Sense of order Sense of care Upkeep	Coeterier (1996) Girardin & Weinstoerffer Hands & Brown (2002) Hartig (1993) Laurie (1975) Nassauer (1992) Nassauer (1995) Nassauer (1997) Ode & Fry (2002) Sheppard (2001) van Mansvelt & Kuiper (1999) Weinstoerffer & Girardin
Coherence	Correspondence with ideal situation/harmony Unity Uniformity Holistic Land-use suitability Balance and proportion Intactness Harmony	Bell (1993) Bell (1999) Bureau of Land Management Federal Highways Forestry Commission (1989) Hendriks et al. (2000) Herzog (1984) Herzog (1989) Kaplan (1977) Kaplan & Kaplan (1989) Kuiper (1998) Laurie (1975) Litton et al. (1974) Ode & Fry (2002) Palang et al. (2000) Swanwick (2002)

		van Mansvelt & Kuiper (1999) USDA (1995)
Disturbance	Intrusion Alteration Impact Lack of contextual fit Lack of coherence	BC Ministry of Forests (1997) Bell (1993) Bureau of Land Management Forestry Commission (1989) Herna' ndez et al. (2004) Hopkinson (1971) Institute of Environmental Institute (1995) Institute of Environmental Institute (2002) Iverson (1985) Laurie (1975) Pachaki (2003) Stamps (1997) Strumse (1994b) Ulrich (1983)
Historicity	Historical continuity Historical richness	Fairclough et al. (1999) Fairclough (1999) Fairclough & Rippon (2002) Girardin & Weinstoerffer Go' mez-Limo' n & de Lucr' o Hendriks et al. (2000)
		Hooke (2000) Ha' gerha' ll (1999) Lowenthal (1979) Lowenthal (1985) van Mansvelt & Kuiper (1999) McNab & Lambrick (1999) Strumse (1994a) Strumse (1994b) Yahner & Nadenicek (1997)
Visual scale	Landscape room Visibility Openness Enclosure Spaciousness	Appleton (1975) Bell (1999) Clay & Smidt (2004) Forestry Commission (1989) Germino et al. (2001) Gulinck et al. (1999) Hanyu (2000) Herzog (1984) Herzog (1989) Kaplan & Kaplan (1982) Kaplan & Kaplan (1989) Laurie (1975) Lynch & Gimblett (1992) Nasar et al. (1983) Ode & Fry (2002) Stamps (2004) Swanwick (2002) Vining et al. (1984) Weinstoerffer & Girardin Wing & Johnson (2001)



Naturalness	Intactness Wilderness Natural Ecological robust Vegetation health	Anderson (1991) Clay & Smidt (2004) Dearden (1987) Gobster (1999) Green (1999) Hands & Brown (2002) Hanyu (2000) Hartig (1993) Hartig et al. (2003) Herzog (1989) Herzog et al. (2003) Hägerhäll et al. (2004) Kaplan (1977) Kaplan & Kaplan (1989) Laurie (1975) Lindhagen & Hörnsten (2000) Litton et al. (1974) Macaulay Land Use Research (2004) Nasar & Li (2004) Ode & Fry (2002) Orland (1988) Purcell & Lamb (1998) Real et al. (2000) Taylor et al. (2002) van Mansvelt & Kuiper (1999)
Ephemera	Seasonal change (human imposed and natural) Weather changes	Akbar et al. (2003) Clay & Daniel (2000) Gourlay and Slee (1998) Hands and Brown (2002) Hendriks et al. (2000) Hull & McCarthy (1988) Højring & Caspersen (1999) Jorgensen et al. (2002) Litton (1972) Litton et al. (1974) Morgan (1999) Pachaki (2003) Trent et al. (1987)

TABLA 1. TÉRMINOS EMPLEADOS EN LA DEFINICIÓN DE PAISAJE. M. TVEIT ET AL (2006)

A partir de desarrollos propuestos por distintos autores, entre ellos la **Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático (2004)**, **Otero et al. (2003)**, **I.D. Bishop (2002 y 2003)**, **Turner et al. (2001)**, **Fischer (1995)** o **Ramos et al. (2003)** se ha optado por desarrollar un modelo que integre la *calidad visual del paisaje*, la *fragilidad visual intrínseca del paisaje*, la *fragilidad visual adquirida del paisaje*.

La percepción de la *Calidad Visual* del Paisaje es un acto creativo de interpretación por parte del observador (**Polakowski, 1975**). El territorio posee unas cualidades intrínsecas residentes en sus elementos naturales o artificiales que son percibidas por cada uno de los distintos observadores del territorio. Esto supone que la calidad visual del Paisaje se aprecia y reconoce de forma distinta según el perfil de cada observador. La respuesta de estos observadores viene condicionada por tres tipos de factores:

- a) Condiciones y mecanismos sensitivos y perceptivos inherentes al observador.
- b) Condicionantes educativos y culturales.
- c) Relaciones del observador con el paisaje a contemplar.

Como consecuencia del problema perceptivo de la calidad visual del paisaje surge la complicación de la adjudicación de unos determinados valores a esta calidad.

Cuando el encargado de realizar la evaluación ha recibido una percepción o sensación y ha generado una respuesta estética, la evaluación le exige realizar un proceso de valoración que trae consigo nuevos problemas. Cuando se le asigna un valor a un paisaje determinado hay que tener presente que este tiene unos elementos o componentes mutuamente interdependientes, como son (**Groves y Kahalas, 1976**):

- Un componente cognoscitivo. Conocimiento o creencia de un objeto, persona o cosa. Está muy influido por el sistema de organización selectiva del conocimiento en general, de acuerdo con los principios de aprendizaje y la organización de estímulos.
- Componente sensitivo o afectivo. Emoción conectada con un objeto, que valora su carácter motivacional.
- Componente de tendencia a la acción o actuación. La rapidez o prontitud de comportamiento asociado con un valor, es el resultado de experiencias individuales en el intento de satisfacción de sus deseos.

Estos componentes, conocimiento, sentimiento y tendencias a la acción, forman un sistema de valor complejo muy interrelacionado que es difícil de analizar para evitar sesgos. Por ejemplo, si se pide a una serie de personas que adjudique un valor, en una escala predeterminada, a una serie de paisajes será muy difícil evitar que los que los conocen los valoren de forma distinta a los que no los han visto nunca, proporcionando así respuestas en principio no comparables.

**Daniel & Vining (1983)** utilizan un modelo estético formal, en que participan expertos con entrenamiento en arquitectura del paisaje y evalúan la interacción entre formas básicas, líneas, colores y texturas de un determinado paisaje. Este modelo asume que la calidad visual dependerá de la variedad, unidad, integridad, etc., y su presunción es que estas características son inherentes en el paisaje y se pueden evaluar por un

experto entrenado. Otro ejemplo de este modelo estético formal es ***The Visual Management System (VMS) usado por el Servicio Forestal de los EE.UU. (USDA Forest Service 1973, 1974)***.

Para la evaluación de la calidad visual se han teniendo en cuenta estos trabajos y la propuesta de ***Calvo Iglesias, S. (2000)*** que considera la calidad visual formada por:

- ***Diversidad***: Con este parámetro se evalúa el grado de mosaico de los usos en el paisaje, considerando que en general los paisajes más diversos tienen una mayor calidad.
- ***Valor ecológico***: En este caso se ha considerado que las zonas más próximas a las zonas de gran valor ecológico (masas de robles, bosques de ribera y bosquetes de alcornos), tienen una mayor calidad.
- ***Naturalidad***: En este caso se entiende que un paisaje cuanto más natural más valor tiene. Cuanto más natural es un paisaje, más susceptible al deterioro es, y por lo tanto más frágil.
- ***Proximidad a elementos patrimoniales***: Se ha considerado que cuanto más próximo se esté a un elemento patrimonial más valor tiene el paisaje adyacente. A efectos prácticos se ha considerado que todos los elementos patrimoniales son valiosos al imprimir señas de identidad en el paisaje.
- ***Proximidad a impactos visuales***: Con respecto a este factor, se ha considerado que la mayor proximidad a un impacto visual disminuye la calidad del paisaje adyacente.

La ***fragilidad visual*** es la capacidad de respuesta de un paisaje frente a un uso de él. Es el grado de deterioro ante cambios en sus propiedades. Lo contrario es la capacidad de absorción visual (***Escribano et al. 1991***), entendida como la capacidad de recibir alteraciones sin deterioro de la calidad visual. Entonces, a mayor fragilidad menor capacidad de absorción visual y viceversa.

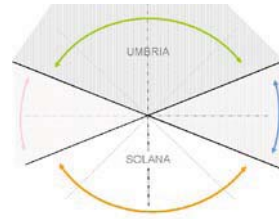
Para evaluar la fragilidad se propone un método inspirado en ***Escribano et al. (1991)*** y ***MMA (2004)***, que diferencia entre la fragilidad visual intrínseca y la fragilidad visual adquirida:

- ***Fragilidad visual intrínseca***: Es la fragilidad visual que presenta un territorio por sus propias características y propiedades, es decir, pendientes, orientaciones, usos del suelo.... Se proponen cuatro tipos de orientaciones distintas en función de su mayor o menor importancia dentro de la fragilidad.  
Se entiende que una exposición u orientación en la cual prevalecen las solanas es mucho más frágil que una en umbría. La insolación de los rayos solares provoca que las solanas sean muchísimo más visibles que las umbrías, y por lo tanto un actuación en dicha exposición será mucho más importante que en



una umbría. El terreno en solana presentará mayor fragilidad que en umbría, por lo que se diferencian estas cuatro exposiciones distintas:

Umbría:	292'5º	a	67'5º
Media umbría:	67'5º	a	112'5º
Solana:	112'5	a	247'5º
Media solana:	247'5º	a	292'5º



La pendiente es directamente proporcional a la inclinación del terreno, porque se considera que un terreno con mayor pendiente es mucho más visible desde puntos más remotos que uno de pendiente casi nula, ya que no existen zonas que situadas entre el observador y los puntos más remotos del monte, sirvan de barrera visual.

Además de la pendiente y orientación, para cada punto del territorio, en función del uso del suelo existente, se generará un valor básico de Fragilidad Intrínseca atendiendo a criterios como el tiempo de recuperación del uso del suelo previo a una actuación, área, altura, volumen, textura, color, etc.

Por ejemplo, se entiende que cuanto más edad tenga una masa forestal más frágil es. Las masas jóvenes son menos frágiles que las adultas porque se puede retornar a su estado en mucho menos tiempo y más fácilmente que las masas de mayor edad. Cortando una masa adulta se alterará el paisaje mucho más que si se realiza la corta sobre árboles relativamente jóvenes. Un punto del territorio tendrá una Fragilidad Intrínseca más grande cuanto mayor sean los árboles que presente, puesto que cortándolos se tardará más en recuperar el estado anterior a la actuación.

- **Fragilidad visual adquirida:** Es la fragilidad visual que presenta un territorio en función de los observadores, tanto observadores móviles (carreteras) como fijos (núcleos de población). Para su cálculo se tienen en cuenta de nuevo la propuesta de **Calvo Iglesias, S. (2000)** realizando el análisis mediante cuencas visuales acumuladas.

### Resumen metodologías y autores.

A continuación se hace un breve resumen de las metodologías que aglutinan las principales líneas de trabajo de diversos autores.

Quizás una de las mejores aproximaciones a la valoración y calidad del paisaje la hace **Calvo Iglesias (2000)**, por ello, es un apoyo importante en este trabajo:

Hace un análisis directo e indirecto del paisaje, mediante trabajo de campo y un análisis GIS.

Para la evaluación paisajística con GIS, simplemente valora la calidad y la fragilidad, sin distinguir conceptos de fragilidad visual adquirida o intrínseca, sin embargo los incorpora en el cálculo de la fragilidad. En su trabajo valora la calidad mediante la proximidad a elementos patrimoniales, proximidad a impactos visuales, diversidad, valor ecológico, naturalidad. Por otro lado la fragilidad con la naturalidad, la accesibilidad, la visibilidad, las orientaciones y las pendientes.

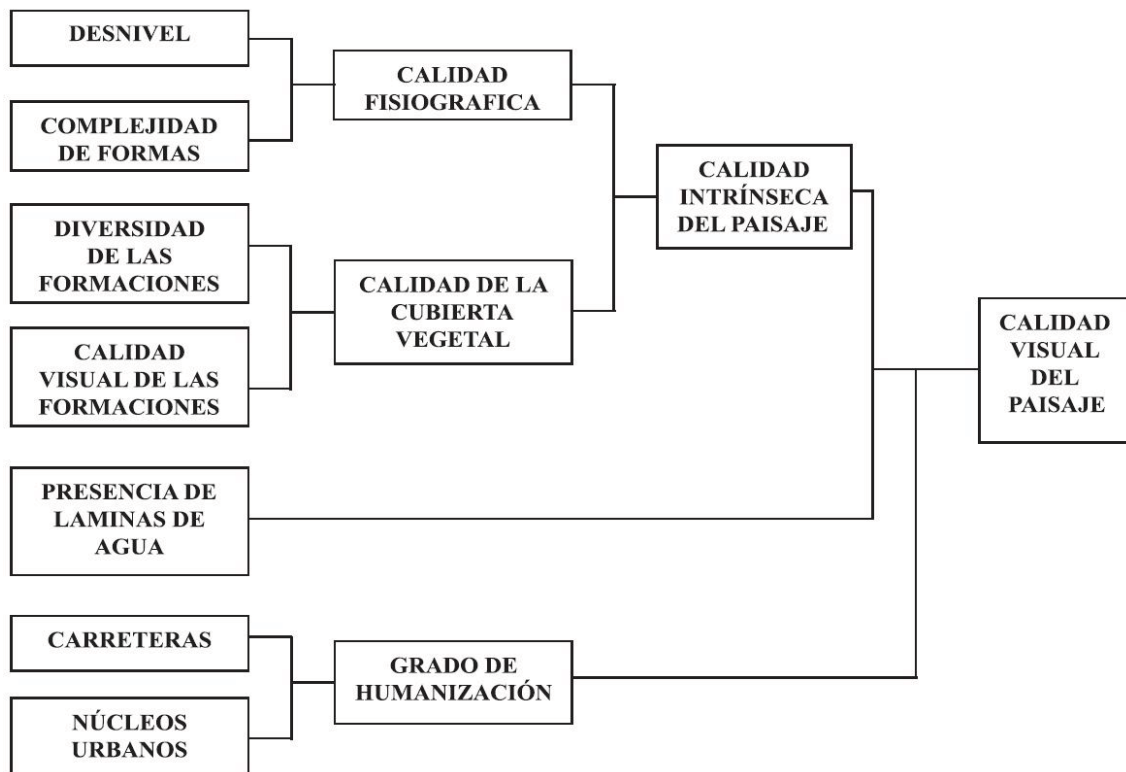
Cabe destacar la accesibilidad, es uno de los pocos trabajos que la tienen en cuenta. La valora de la siguiente forma:

- la accesibilidad física del territorio en base a la proximidad a infraestructuras viarias y la densidad de población. Se considera que cuantas más infraestructuras viarias haya en una zona y mayor densidad de población existe una mayor susceptibilidad de deterioro, y por tanto una mayor fragilidad. Se han calculado las distancias a las infraestructuras viarias (sin contar las sendas) y se han reclasificado los valores de 1-5, de forma que el valor 5 corresponde al de mayor proximidad a dichas infraestructuras. Con respecto a la densidad de población ésta se ha calculado con el comando density del Spatial Analyst que calcula la densidad de población, reclasificando de forma análoga los valores. Posteriormente se ha hallado el valor medio de estos factores con el map calculator, reuniendo en un solo parámetro ambos criterios.

Estos pasos iniciales en la valoración de la accesibilidad se mejoran en gran medida en el presente trabajo, ya que se tiene en cuenta la IMD de cada vía y el número de habitantes de cada núcleo de población.

Otra completísima aproximación es la realizada por **Montoya Ayala (2003)**, está basado en los modelos de autores como **Aguiló (1981)**, **Blanco (1979)**, **Cifuentes (1979)**, **Aranburu et al (1994)**. De nuevo, para hacer la valoración paisajística de la zona, valora por separado la calidad y la fragilidad visual.

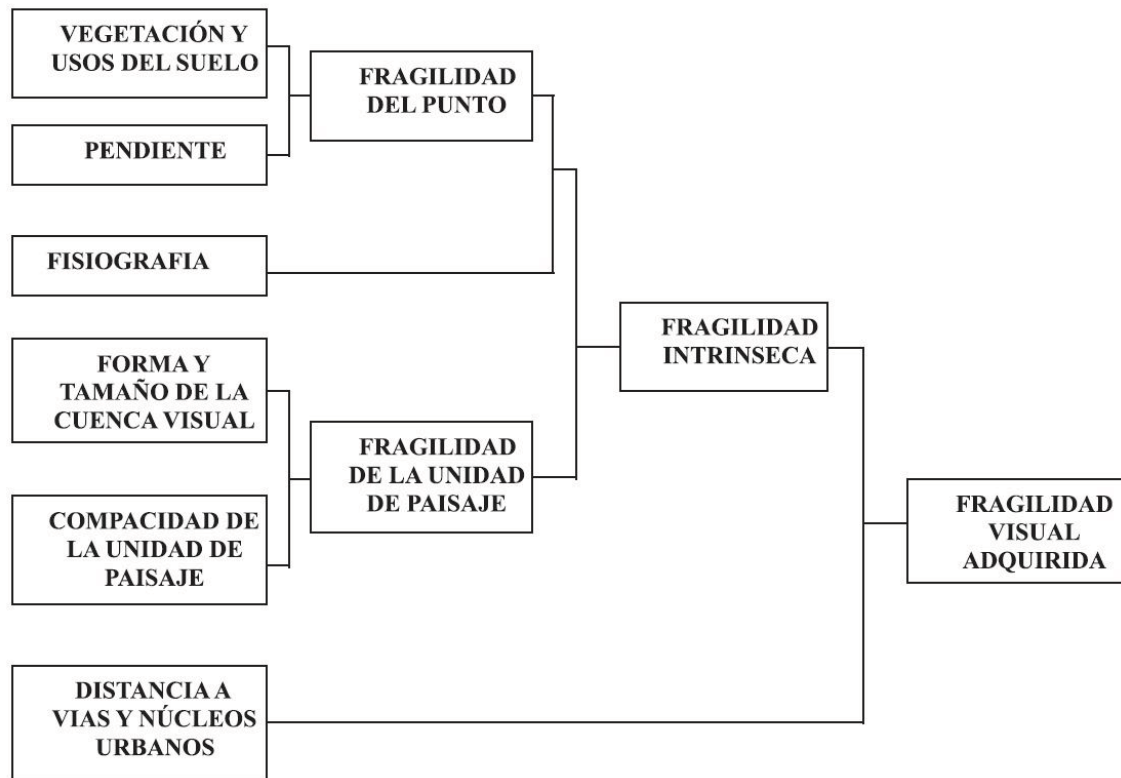
A continuación se detalla la metodología seguida en su trabajo:



*FIGURA 1. VALORACIÓN DE CALIDAD VISUAL SEGÚN MONTOYA AYALA (2003)*

Este modelo de valoración de calidad, se basa principalmente en la calidad intrínseca del paisaje modificada por la presencia de agua y su grado de humanización. Cabe destacar que la calidad intrínseca fundamentalmente es la topografía del terreno y la cubierta vegetal. Por otro lado, el grado de humanización se calcula con poca precisión, valora simplemente la presencia, en cada cuadrícula de cada unidad, de vías de comunicación y núcleos urbanos.





*FIGURA 2. VALORACIÓN DE FRAGILIDAD VISUAL SEGÚN MONTOYA AYALA (2003)*

Al contrario que en este trabajo, integra la fragilidad visual dentro de la adquirida, que da la como resultado final de la fragilidad visual.

El modelo valora las cuencas visuales dentro de la fragilidad visual, así como también su geometría. La mayoría de trabajos trata de asignar valores dependiendo de la geometría del paisaje.

El último factor, y no menos importante que considera es la distancia a núcleos y vías.

Como al anterior trabajo presentado, quizás la combinación de las cuencas visuales junto con la presión entrópica aportaría algo diferente.

## 2.2. MCE Y SUMA LINEAL PONDERADA

La Evaluación Multicriterio (EMC) es un conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen, bien sean factores o restricciones (**Barredo, 1996**). A continuación se muestran las diferentes técnicas EMC:

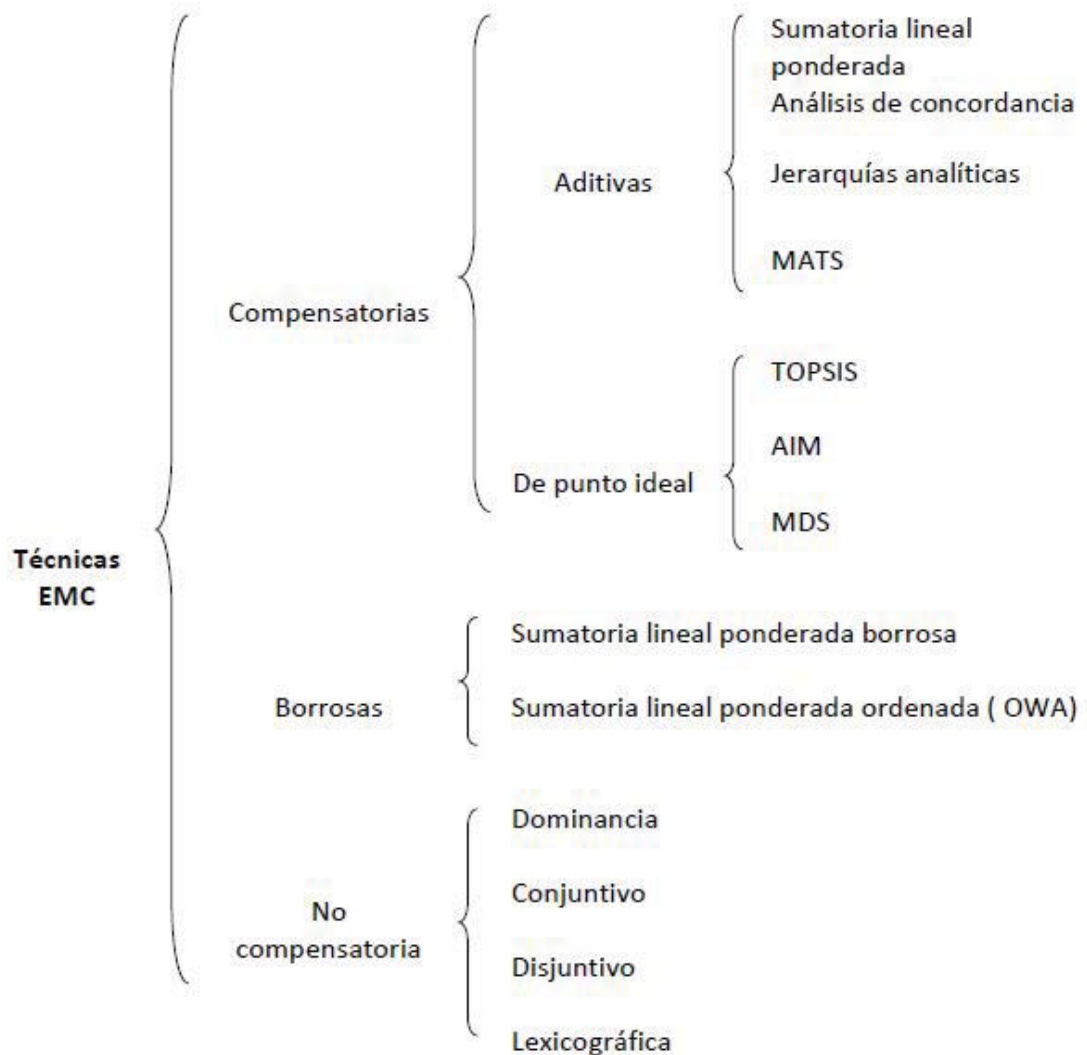


FIGURA 3. TECNICAS EMC. GÓMEZ BARREDO (2005)

La Suma Lineal Ponderada (SLP) es un Método Multicriterio Compensatorio, en el cual se multiplica cada factor ya normalizado por su peso, y posteriormente se suman los resultados.

$$v_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_j$$

Donde:

- $V_i$  es el nivel de adecuación de la alternativa i
- $W_j$  es el peso del criterio
- $X_{ij}$  es el valor de la alternativa i en el criterio j

No todos los pesos de los factores son iguales, hay diferentes métodos de ponderación de pesos como se enumera a continuación:

- **delphy**: los pesos se valoran en función del grupo de expertos participantes en el proyecto.
- **CRITIC**: EL método CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), original de **Diakouki et al (1995)** es un método multicriterio que permite la ponderación de los distintos criterios. Con su técnica se calculan pesos para las distintas variables, de manera que el peso de un factor es tanto mayor cuanto mayor sea su varianza (mayor desviación típica), y cuanto mayor información diferente a la de los otros criterios aporte (menor coeficiente de correlación entre columnas) (**Aznar Bellver, Guijarro Martinez, 2005**).
- **Entropia**: Al igual que el método de CRITIC, el método de entropía (**Zeleny, 1982**) es un método objetivo de cálculo de los pesos, que parte del supuesto de que cuanto mayor es la diversidad de los distintos valores de un criterio, mayor debe ser su peso. Conceptualmente, se basa en la teoría de la información de Shannon, que introduce el concepto de entropía en un canal de información.

Las zonas más adecuadas para el objetivo asumen la puntuación máxima, las zonas menos adecuadas asumirán los valores más bajos.

Las herramientas usadas en ArcGis para aplicar este enfoque se explican en el anexo 1.

### 2.3. FUZZY LOGIC

La Fuzzy logic es un tipo de lógica que realiza el tratamiento de predicados vagos o también denominados borrosos.

Un predicado vago o borroso es aquél que se modela aplicando a los elementos de un conjunto un cierto grado en el intervalo cerrado entre 0 y 1. Es decir, no tiene por qué verificarse o no verificarse completamente, lo cual sería los casos particulares de 0 y 1, sino que se verificará en un cierto grado. Un predicado de este tipo, en general, no clasifica el universo en dos categorías, es decir, no produce una distinción en dos clases diferenciadas.

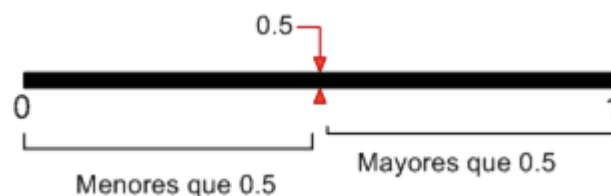
Predicados vagos sobre el universo de, por ejemplo, personas son: rico, feliz, joven, grande, alto, etc. A partir de ellos y conectores como AND; OR, NOT formulamos enunciados borrosos:

- Juan es alto y no es muy joven.
- Mi casa es grande.

Ante esto, se necesita una nueva herramienta para poder realizar cálculos matemáticos y surge el concepto de conjuntos difusos o borrosos, es decir, conjuntos que no tienen bien definida su frontera frente a los conjuntos clásicos, usados en la Lógica Clásica, en los que la frontera está definida nítidamente.

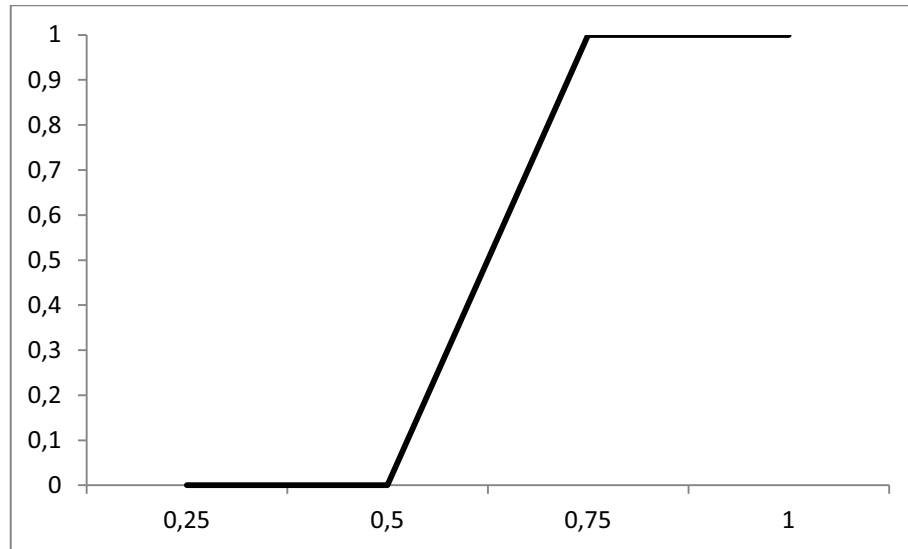
Ejemplo

Estudiamos el conjunto de los números reales entre 0 y 1. Dado el intervalo  $[0,1]$  y el predicado "*más grande que 0.5*", vemos que es un predicado nítido ya que lo verifican los números del subconjunto  $(1/2,1]$  y no lo verifican los del subconjunto  $[0,1/2]$ . Con este predicado se puede observar que se realiza una partición del conjunto inicial  $[0,1]$ . Una de las partes satisface la propiedad dada en el predicado y la otra parte contiene los que no satisfacen la propiedad.





Sin embargo, en el intervalo  $[0,1]$ , el predicado "*grande*" no realiza una partición del conjunto anterior, ya que no queda claro qué es grande y qué no. Por ejemplo, si establecemos que los números grandes son los pertenecientes al intervalo  $[0.75,1]$ , y preguntáramos, ¿es el 0.7499 un número grande?



La respuesta desde el punto de vista de la Lógica Clásica sería que no lo es, puesto que no está dentro del intervalo que hemos propuesto, y esto sería totalmente válido. Pero, si lo consideramos bajo nuestro sentido común, o desde el punto de vista de la Fuzzy logic, diríamos que 0.7499 es un número grande ya que está muy próximo al valor de 0.75.

Un conjunto borroso es aquél al que los elementos no tienen por qué pertenecer o no pertenecer, sino que pertenecen con un cierto grado. Para poder trabajar con los conjuntos borrosos, usamos los grados de pertenencia que los elementos tienen a dicho conjunto borroso.

Las herramientas usadas en ArcGis para aplicar este enfoque se explican en el anexo 1.

### **3. FUENTES Y METODOLOGÍA**

#### **3.1 FUENTES EMPLEADAS.**

La información geográfica necesaria para realizar este trabajo fue descargada del Instituto Geográfico Nacional gratuitamente para uso no comercial.

Todos los datos están en el sistema de coordenadas ETRS 1989.

La información de partida es:

- MDT de la comunidad de Madrid y de Galicia. Archivo raster con una resolución 25 m. A partir de este raster se obtienen los raster de pendientes y exposiciones de ambas zonas, también con la misma resolución de 25 m.
- Corine Land Cover de la comunidad de Madrid y de Galicia. Archivo en formato vectorial. A partir de este se obtienen los raster de Naturalidad, Cromaticidad, Fragilidad visual del uso y la variabilidad de tipos de uso.
- Provincias de España y municipios de Madrid y Galicia en formato vectorial.
- CartoCiudad de Madrid y Galicia para las vías de comunicación.
- Nomenclator con todos los núcleos de población y sus habitantes en formato acces.

### 3.2 METODOLOGÍA DE VALORACIÓN PAISAJISTICA

Este es el esquema general de la metodología (independiente del enfoque). A continuación se explica cada una de las fases.

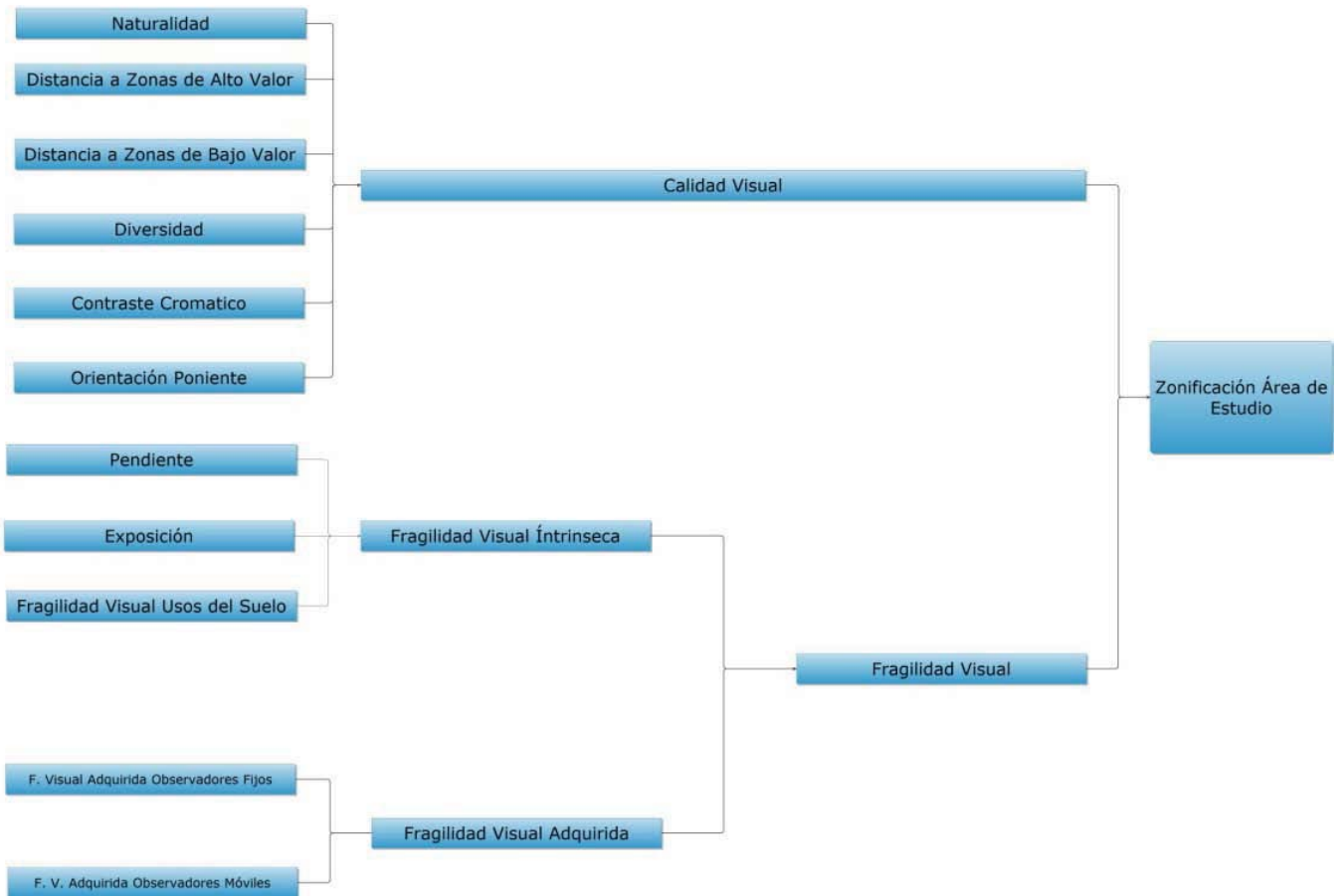


FIGURA 4. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA. ELABORACIÓN PROPIA.

Apoyándose en este esquema, se valoraran las zonas de estudio mediante los dos enfoques explicados anteriormente:

- MCE y Suma lineal ponderada.
- Fuzzy logic.

Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje usando SLP

En este trabajo se plantea una *calidad visual* como una modificación de **Calvo Iglesias, S. (2000)** formada por:

- **La Naturalidad:** Se reclasificaron los usos del suelo de 1 a 5, atendiendo a aspectos como naturalidad o valor ecológico. Una vez decididos los valores se convierte a raster y se reclasifica. Una playa o un bosque de frondosas tendrán máxima categoría (5) mientras que un vertedero o una mina a cielo abierto tendrán categoría 1.

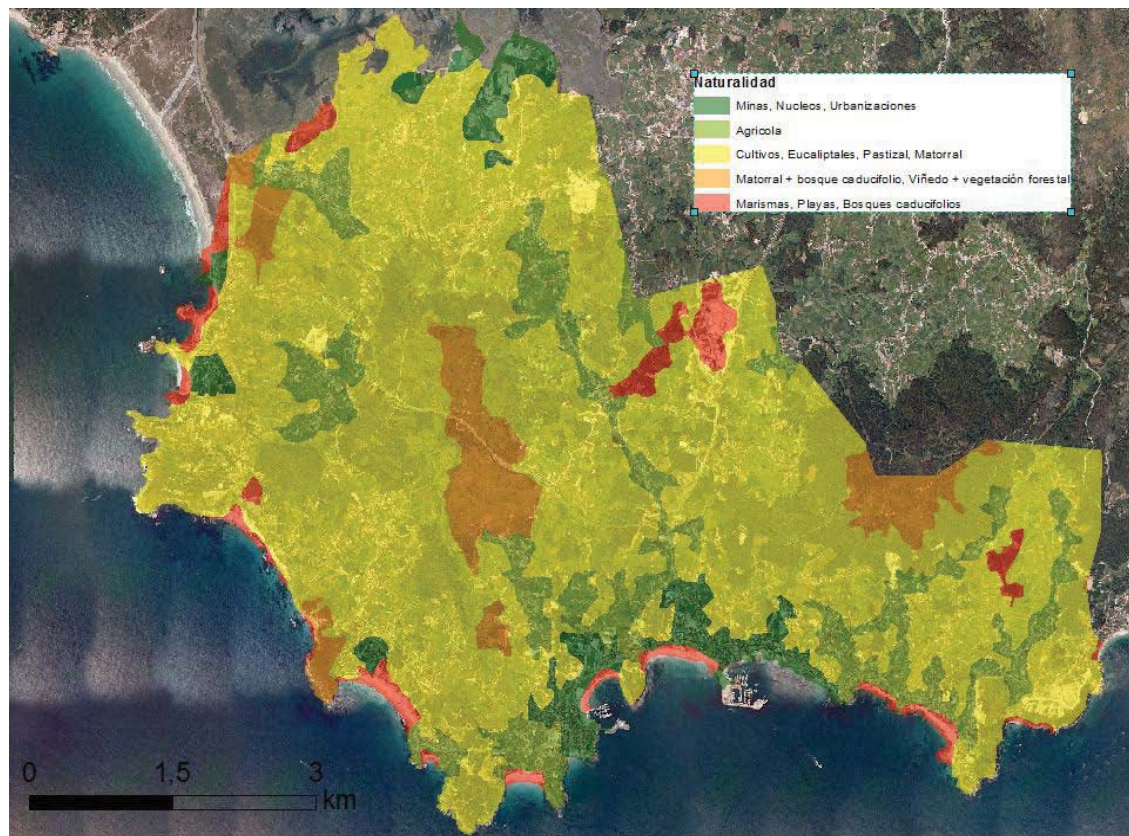


FIGURA 5. NATURALIDAD EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.



- *La Distancia a zonas de alto valor:* En este caso se consideran con mayor calidad las zonas más próximas a usos del suelo que en el primer apartado tomaron valor máximo. En la práctica, se calcularon áreas de influencia de los usos del suelo considerados, y se definieron reclasificando las distancias en torno a cada elemento en 5 intervalos de 50 metros (valor 5 al intervalo de 0-50 metros y valor 1 a la distancia superior a 200 metros).

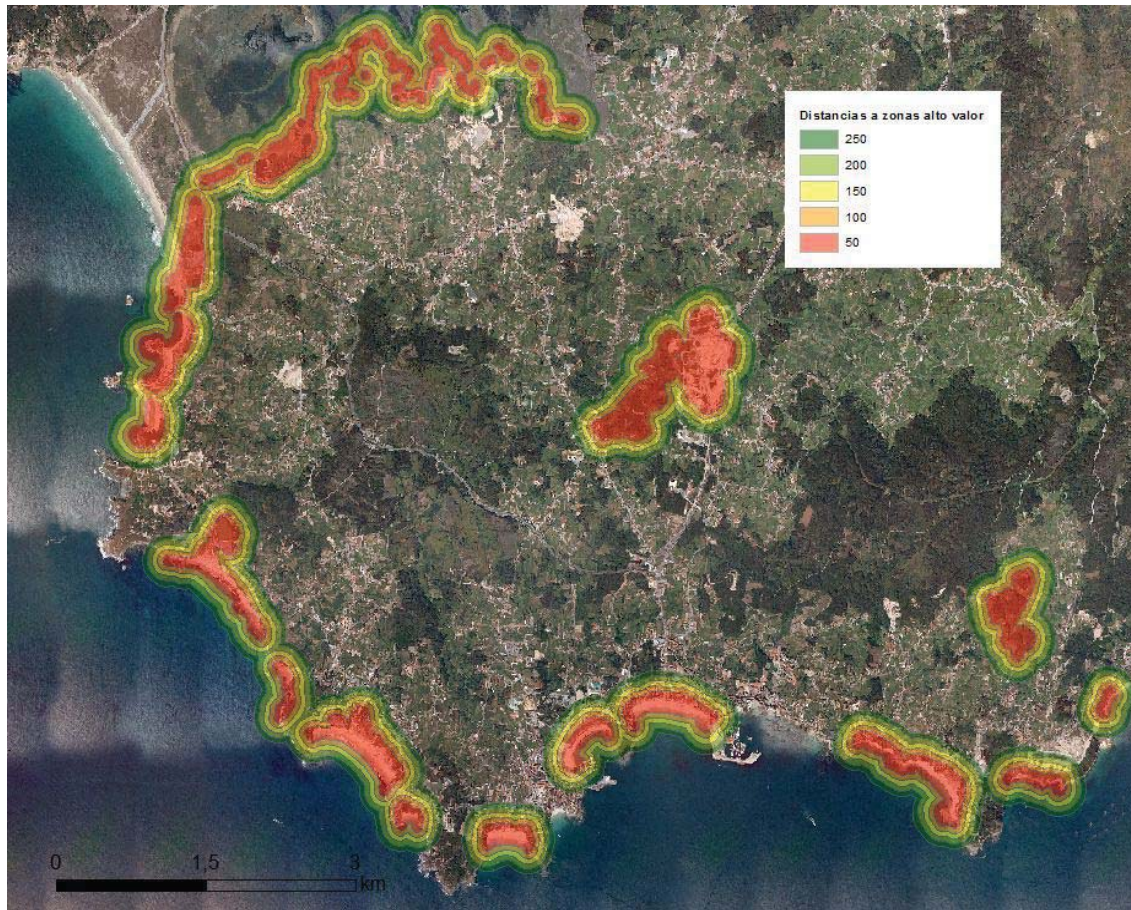


FIGURA 6. DISTANCIAS A ZONAS DE ALTO VALOR EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.



- *La Distancia a zonas de bajo valor:* En este caso se consideran con mayor calidad las zonas más lejanas a usos del suelo que en el primer apartado tomaron valor mínimo. En la práctica, se calcularon áreas de influencia de las manchas consideradas, y se definieron reclasificando las distancias en torno a cada elemento en 5 intervalos de 50 metros (valor 1 al intervalo de 0-50 metros y valor 5 a la distancia superior a 200 metros).

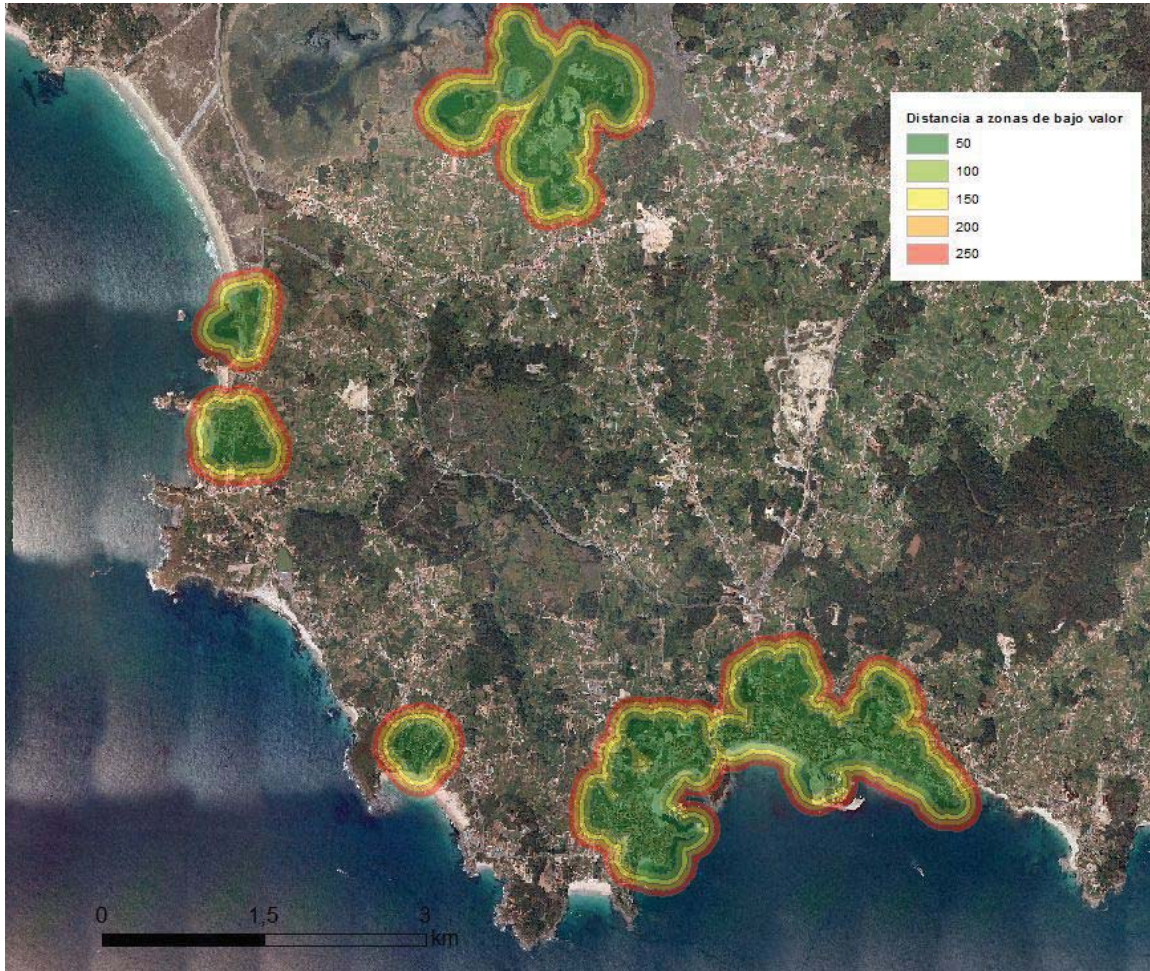


FIGURA 7. DISTANCIAS A ZONAS DE BAJO VALOR EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

- *La Diversidad de usos:* Para evaluar esta diversidad se contabilizó el número de usos diferentes en una cuadrícula de 6,25 hectáreas (10x10 píxeles de 25m) otorgando un valor de 5 a aquellas unidades con 5 o más usos diferentes.



- *El Contraste cromático:* Se considera que un uso del suelo que posea contrastes cromáticos en distintas épocas del año poseerá una calidad visual mayor. Los usos se reclasifican con valores de 1 a 5. Por ejemplo bosques de frondosas caducifolias tienen categoría 5.

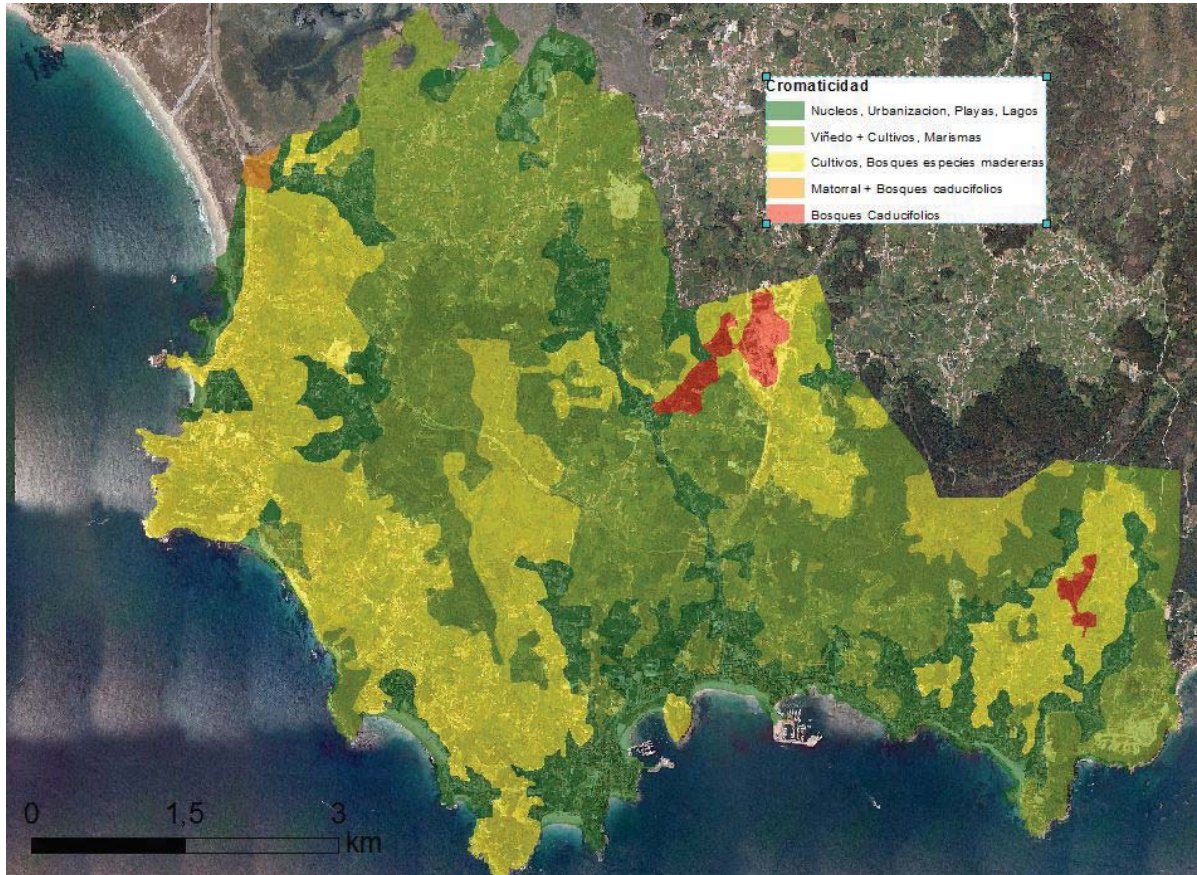


FIGURA 8. CROMATICIDAD EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

- *La orientación a poniente:* Se ha incluido un factor que incrementa la calidad visual de un punto según su orientación sea más próxima a la Oeste. Este factor se ha incluido por el efecto que en el área litoral supone la luz de la tarde, especialmente en el atardecer.



FIGURA 9. FOTO DE LA PUESTA DE SOL EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA

La siguiente ecuación une los conceptos antes mencionados. Todos se ponderan por criterio propio. La mejora de estas ponderaciones mediante otras técnicas sería el punto de partida de siguientes trabajos.

En este cálculo de la calidad, se considera más importante la naturalidad y la diversidad paisajística (0,3 y 0,2) frente al resto de criterios.

$$\text{Calidad} = 0.3 \cdot \text{Nat}_{\text{pai}} + 0.15 \cdot \text{Prox}_{\text{v5}} + 0.15 \cdot \text{Prox}_{\text{v1}} + 0.2 \cdot \text{Div}_{\text{pai}} + 0.1 \cdot \text{C}_{\text{crom}} + 0.1 \cdot \text{Or}_{\text{w}}$$

La *fragilidad visual* es la suma de la *fragilidad visual intrínseca* y la *fragilidad visual adquirida*.

A su vez, la *fragilidad visual intrínseca* está formada por:

- *La exposición:* con el mdt de la zona de estudio y la herramienta aspect, conseguimos este criterio. Las distintas orientaciones adquieren diferentes valores :

Umbría	1
Media solana este	1'05
Media solana oeste	1'15
Solana	1'25



Se entiende, según esto, que una superficie en solana es un 25% más frágil visualmente que una situada en umbría. Las zonas orientadas al sur son siempre superficies mucho más iluminadas que las orientadas al norte. En cuanto a la diferenciación entre la exposición este y oeste, se entiende que es más frágil la oeste puesto que a última hora de la tarde el sol incide directamente en ella, cosa de especial importancia en el caso del litoral en Galicia. En el lado opuesto (este) se obliga a esa misma hora a una visión a contraluz y con sol bajo, por lo que se dificulta mucho más la observación directa de la superficie.

- *La pendiente*: igual que antes, con el MDT (modelo digital de terreno) y la herramienta slope (anexo 1) se consigue este nuevo factor.

El valor de la pendiente que se introduce en la fórmula, será el propio valor de la pendiente, obtenido del modelo digital de pendientes en tanto por uno. Para los valores de pendientes que superen el 50% se optó por agruparlos en una sola categoría, con valor 0'5, para que el resultado final de la Fragilidad Visual Intrínseca sea más homogéneo, es decir, que en zonas con fuertes pendientes en los cuales existan desniveles puntuales de valores muy elevados, no influyan en la consecución de registros muy dispares en zonas próximas y así obtener una superficie de pendiente elevada de mayor extensión.

El factor de la pendiente está multiplicando al resto de términos de la ecuación.

- *La FVI de los usos del suelo*: en este caso se parte de la información de usos del suelo, a cada categoría se le asigna su valor correspondiente entre 1 y 5.

Estos componentes se combinan según la siguiente fórmula:

$$F.V.I. = 0.33 \cdot \text{Pend} \cdot 0.33 \cdot \text{Exp} \cdot 0.33 \cdot FVI_{\text{USO}}$$

Finalmente, la *fragilidad visual adquirida* está formada por la adquirida de *observadores fijos y observadores móviles*.

La *fragilidad visual adquirida de núcleos* (observadores fijos)

Se utilizan los núcleos de población recogidos en la última edición del Censo de Población y el Nomenclátor que tengan influencia en la zona de estudio. Numerosos autores recomiendan, cuando las distancias implicadas superan los 10-12 Km, que se tenga en cuenta la curvatura de la Tierra. En este caso se ha utilizado como longitud máxima de trabajo 12 Km, por ello no ha sido necesario considerar la curvatura terrestre. Un estudio más detallado de la zona, podrían incluirse puntos singulares de relevante importancia tales como zonas de ocio y cruces de carreteras que provocan retenciones prolongadas, y por lo tanto un punto óptimo de observación.

Por tanto el valor de la fragilidad visual adquirida de los observadores fijos será la suma de las cuencas visuales de los “n” puntos fijos y depende de la distancia de estos a la zona (d), de la cuenca visual concreta (CV) y de la población censada en dicho núcleo (P).

$$FVA_{obs.fijos} = \sum_{i=1}^n (d_i * CV_i * P_i)$$

La *fragilidad visual adquirida de vías* (observadores móviles)

Se situarán observadores teóricos en las vías de comunicación existentes en un entorno de 12 km de la zona estudiada. Para ello se calculará una cuenca visual en puntos situados a una distancia constante en cada uno de los tramos estudiados.

Por tanto, la metodología de cálculo es idéntica a la anterior.

$$FVA_{vías} = \sum_{j=1}^n (d_j * CV_j * T_j)$$

La *zonificación final* está compuesta por la *fragilidad visual* y la *calidad visual*. El resultado es un raster con valores de 1 a 5 cada categoría corresponde a una gestión ambiental diferente.

Simplemente se realiza la suma ponderada de la FV y de la Calidad, esta última por tener parámetros subjetivos se pondera con 0,4 frente al 0,6 de la FV.

Finalmente, mediante el modelbuilder esta es la herramienta desarrollada:

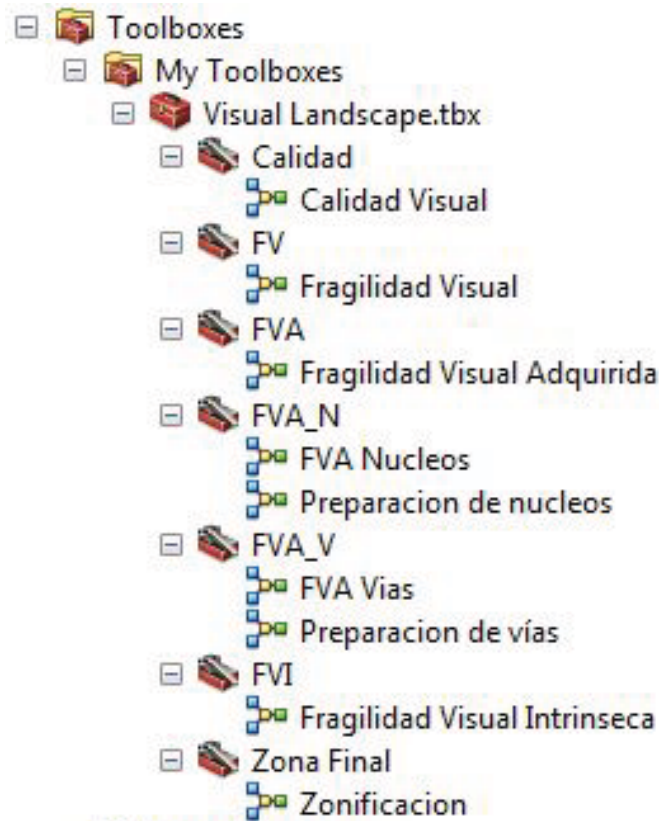


FIGURA 10. IMAGEN DE LA ARCTOOLBOX DESARROLADA PARA SLP. ELABORACIÓN PROPIA.

No se podría concebir un análisis de este tipo sin desarrollar la herramienta. Como se explica en la metodología, para el cálculo de la fragilidad visual adquirida se sigue la técnica de acumulación de cuencas visuales, es decir, implica un cálculo relativamente largo, para cada punto se calcula el viewsheed y se pondera por su peso, calculado a partir de la distancia y población/ I.M.D., para luego sumar cada resultado. Hacer esto para cada punto sería impensable ya que en este trabajo se realizo esta operación más de 300 veces.

A continuación se muestran los modelos claves de la herramienta:

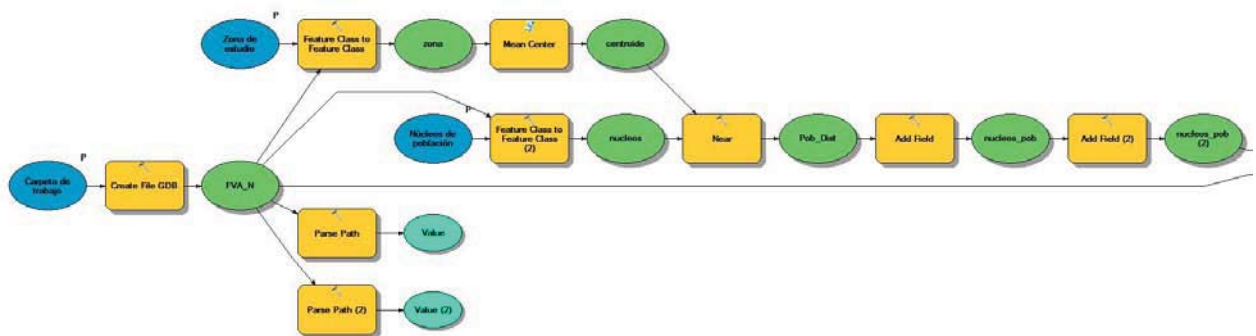


FIGURA 11. MODELO DE PREPARACIÓN DE PUNTOS. ELABORACIÓN PROPIA.

En esta figura se preparan los puntos con los que se estén trabajando, es decir, creamos en un campo nuevo llamado peso que será la multiplicación de la población o el I.M.D. por la distancia al centroide de la zona de estudio, que también se calcula en este paso.

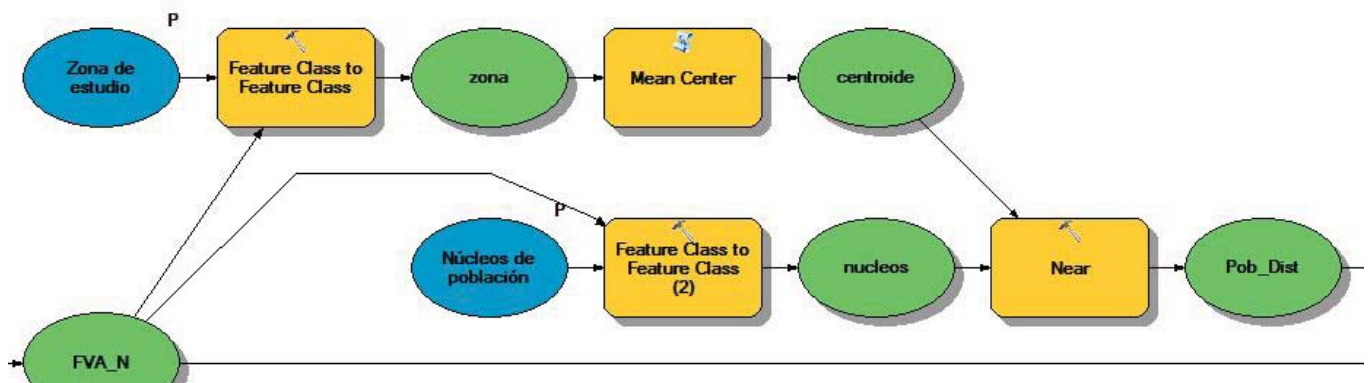


FIGURA 12. DETALLE DEL MODELO DE PREPARACIÓN DE PUNTOS. ELABORACIÓN PROPIA.



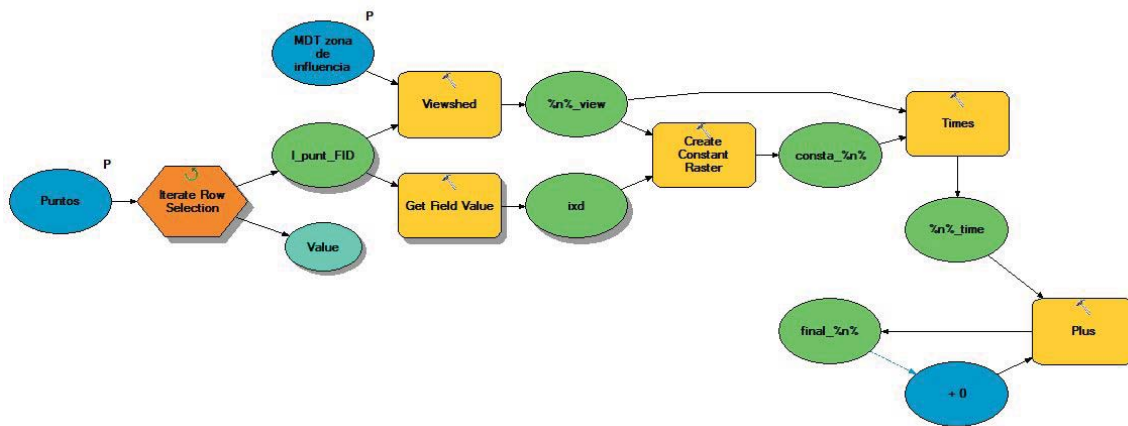
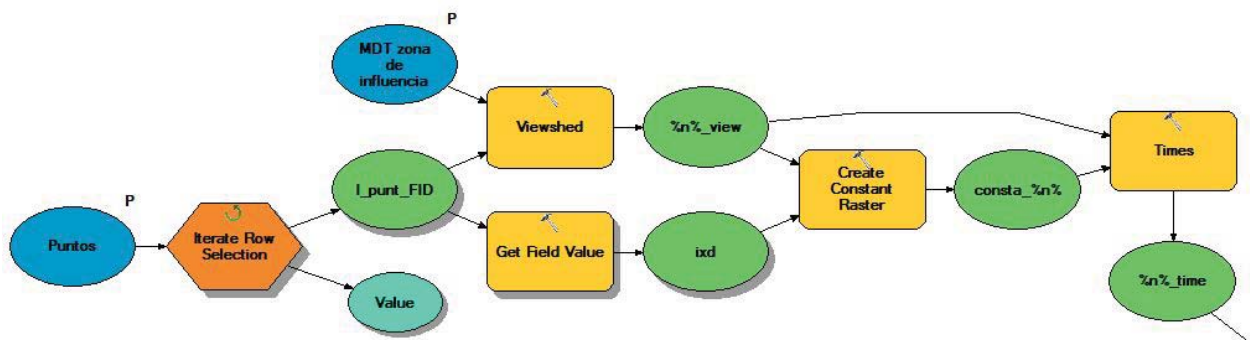
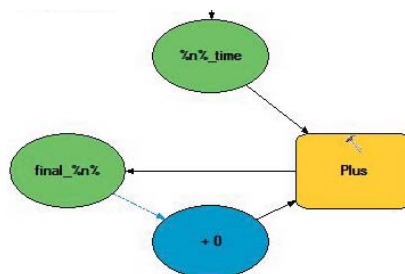


FIGURA 13. MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez ejecutado el anterior modelo se con el shape de punto obtenido en el paso anterior se realizan las respectivas cuencas visuales y su sumatorio.



**FIGURA 14. DETALLE ITERACIÓN DEL VIEWSHEED DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.**



**FIGURA 15. DETALLE ITERACIÓN DEL SUMATORIO DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DE FVA. ELABORACIÓN PROPIA.**

*Incorporación de la fuzzy logic a la valoración del paisaje.*

Para adaptar la metodología anterior a la fuzzy logic se usaron las dos herramientas que ArcGis tiene para ello.

La *calidad visual* está formada por los mismos componentes que en el anterior enfoque, sin embargo se le asigna una función borrosa a cada uno. A continuación se explica qué función se asigna a cada uno.

- *La Naturalidad*: Lineal (anexo 1) de 1 a 5. Valores altos tienen mayor porcentaje de pertenencia al conjunto borroso.

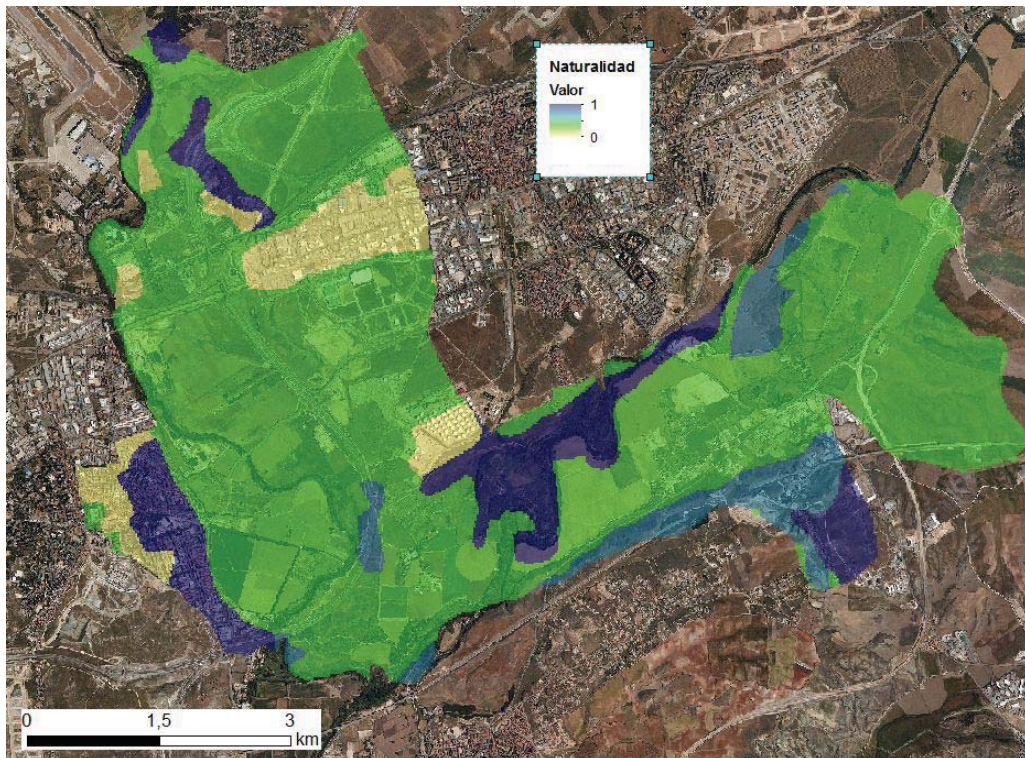


FIGURA 16. IMAGEN DE LA NATURALIDAD MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.



- *La Distancia a zonas de alto valor*: MS small (anexo 1) con punto medio en función de su media y desviación típica. Valores cercanos a las zonas de alto valor tienen mayor porcentaje de pertenencia al conjunto.

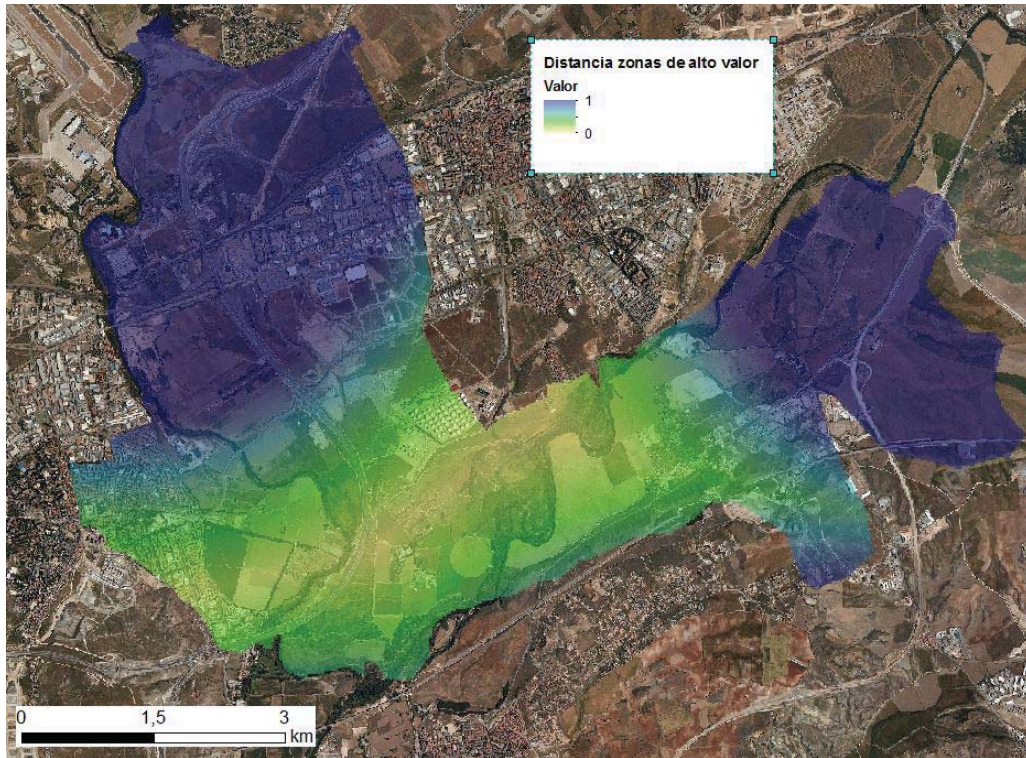


FIGURA 17. IMAGEN DE LA DISTANCIA A ZONAS DE ALTO VALOR MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

- *La Distancia a zonas de bajo valor*: MS large (anexo 1) con punto medio en función de su media y desviación típica. Valores lejanos a las zonas de alto valor tienen mayor porcentaje de pertenencia al conjunto.
- *La Diversidad de usos*: Lineal (anexo 1) de 1 a 5. Valores altos tienen mayor porcentaje de pertenencia al conjunto borroso.

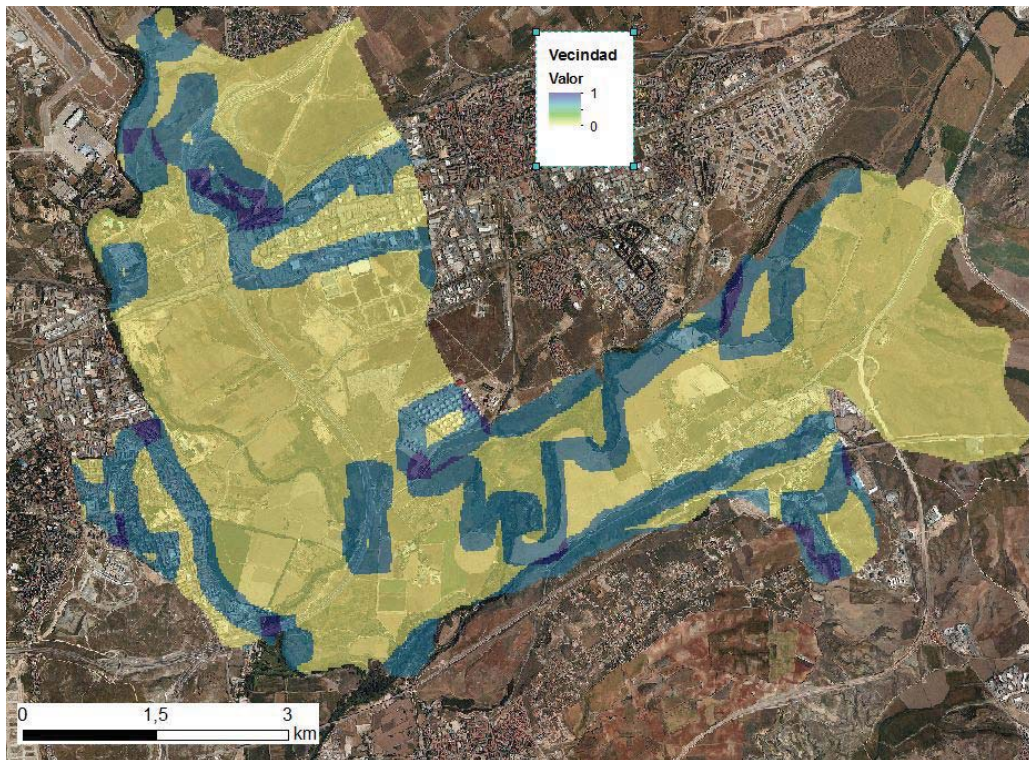


FIGURA 18. IMAGEN DE LA DIVERSIDAD DE USOS MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

- *El Contraste cromático*: Lineal (anexo 1) de 1 a 5. Valores altos tienen mayor porcentaje de pertenencia.



- *La orientación a poniente*: Gaussiana (anexo 1) con punto medio 270. Sigue una distribución normal, cuanto más cercano al valor 270 mayor porcentaje de pertenencia.

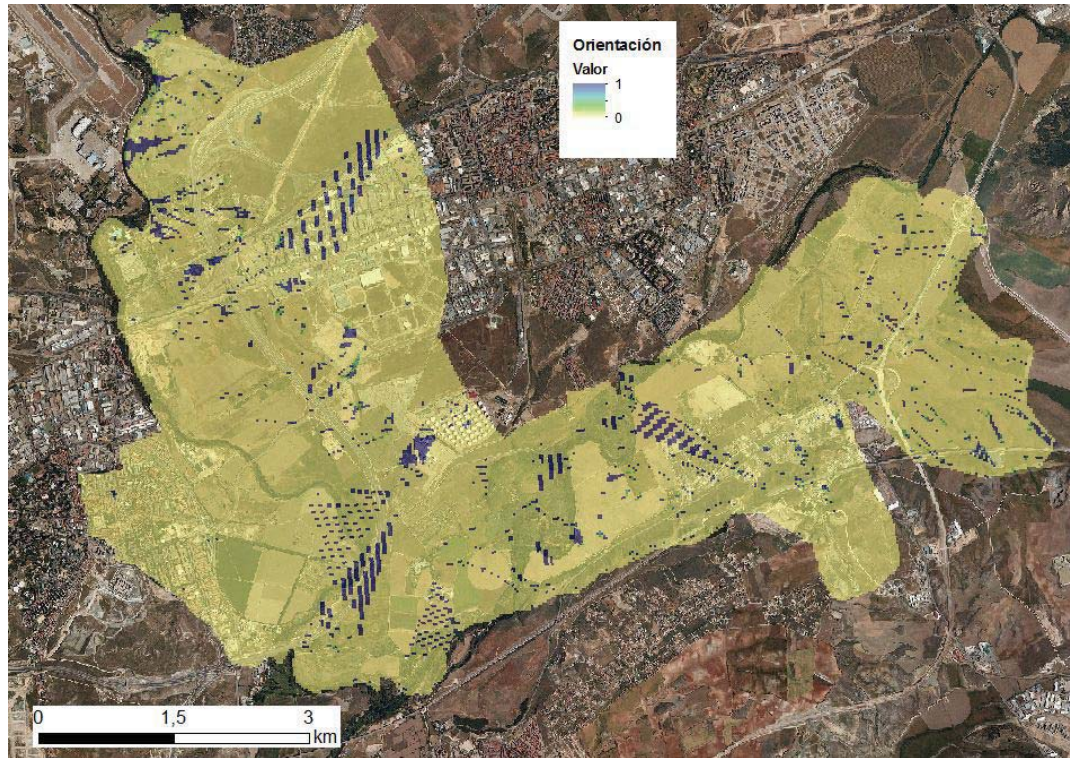


FIGURA 19. IMAGEN DE LAS EXPOSICIONES MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

Todos los componentes quedan reclasificados de 0 a 1. Finalmente para obtener la calidad visual se aplica la misma función que en SLP.

El resultado se vuelve a asignar a una función borrosa, en este caso MS large (anexo 1) para tener en cuenta los valores medios de la zona.

La *fragilidad visual* es la suma difusa de la *fragilidad visual intrínseca* y la *fragilidad visual adquirida*.

La *fragilidad visual intrínseca* tiene los mismos componentes que antes, simplemente se vuelven a adaptar a la fuzzy logic:

- *La exposición*: Se vuelve a calcular mediante una función gaussiana (anexo 1) de manera que los 270° tengan el valor máximo.

- *La pendiente*: Se le asigna una función MS large (anexo 1) de manera que valores más altos mayor porcentaje de pertenencia al conjunto borroso.

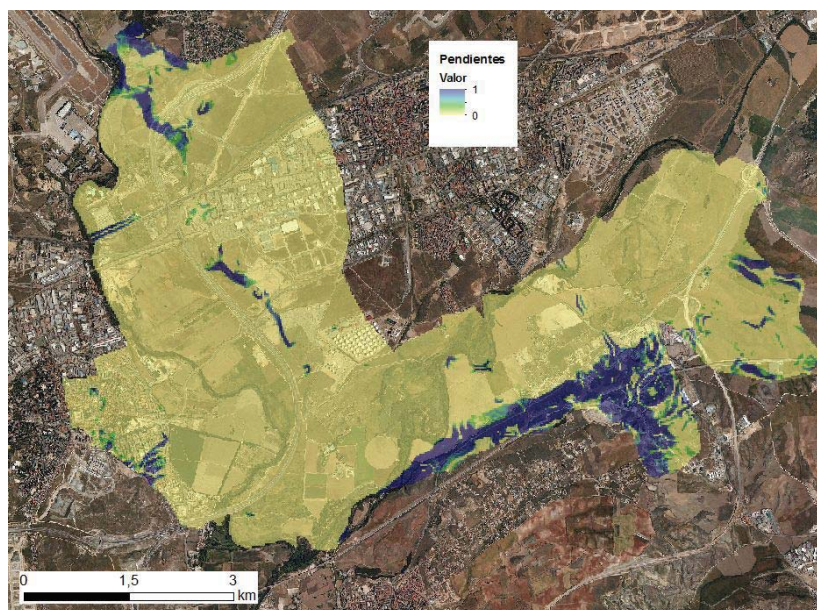


FIGURA 20. IMAGEN DE LAS PENDIENTES MEDIANTE FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

- *La FVI de los usos del suelo*: A este componente se le asigna una función lineal.

Finalmente, la *fragilidad visual adquirida* está formada por la adquirida de *observadores fijos y observadores móviles*. En este caso no se toca el procedimiento de las cuencas visuales para el cálculo de las dos fragilidades, sin embargo, si se asigna una función lineal para posteriormente hacer la suma borrosa y conseguir la *fragilidad visual adquirida*.

La *zonificación final* está compuesta por la *fragilidad visual* y la *calidad visual*. El resultado es un raster con valores de 0 a 1 obtenido a partir de la suma borrosa de los anteriores. Como antes cuanto mayor sea el valor mayor será la fragilidad de la zona.

Una vez se obtuvo el resultado final con valores difusos de 0 a 1 se realizó la defuzzyfication (pasar de valores difusos a nítidos) en la que simplemente se seleccionan los valores superiores al valor crítico (en este caso 0,7). Esta nueva selección indica las zonas con mayor fragilidad y calidad.



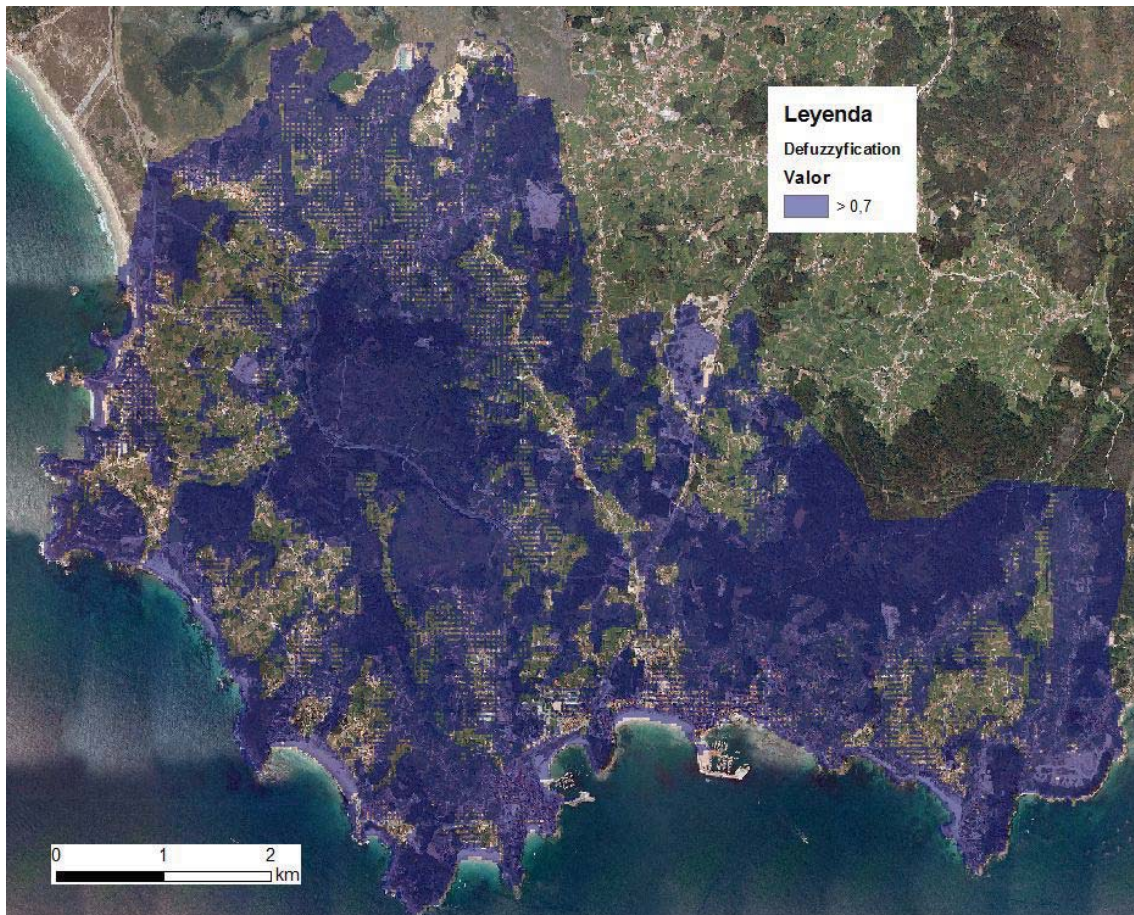


FIGURA 21. DEFUZZYFICATION EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

Al igual que antes se crean los modelos correspondientes mediante el model builder:

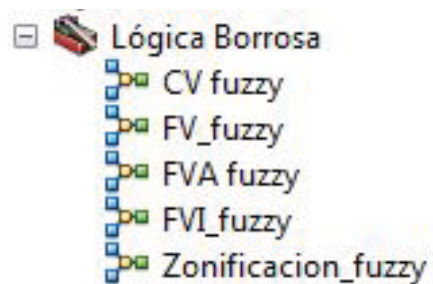
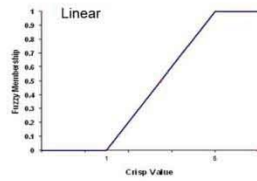


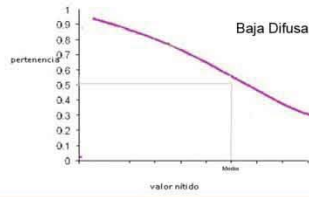
FIGURA 22. IMAGEN DE LA ARCTOOLBOX DESARROLADA PARA LA FUZZY LOGIC. ELABORACIÓN PROPIA.

En las siguientes páginas se resumen los fuzzy membership y fuzzy sets usados para incorporar la fuzzy logic a la metodología:

### Naturalidad



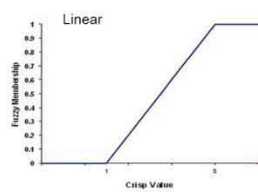
### Distancia a Zonas de Alto Valor



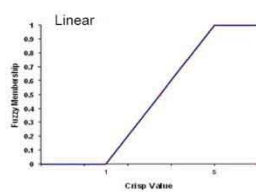
### Distancia a Zonas de Bajo Valor



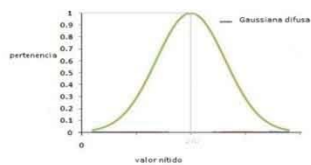
### Diversidad



### Contraste Cromático

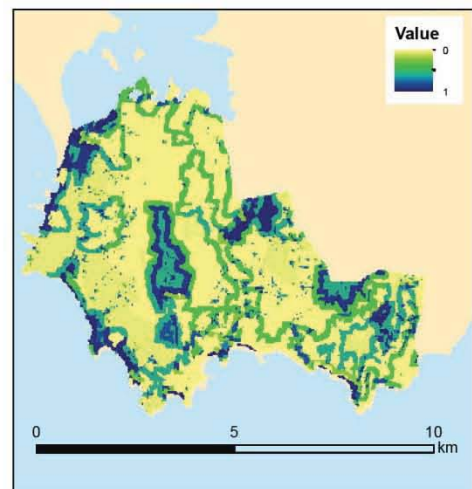


### Orientación Poniente

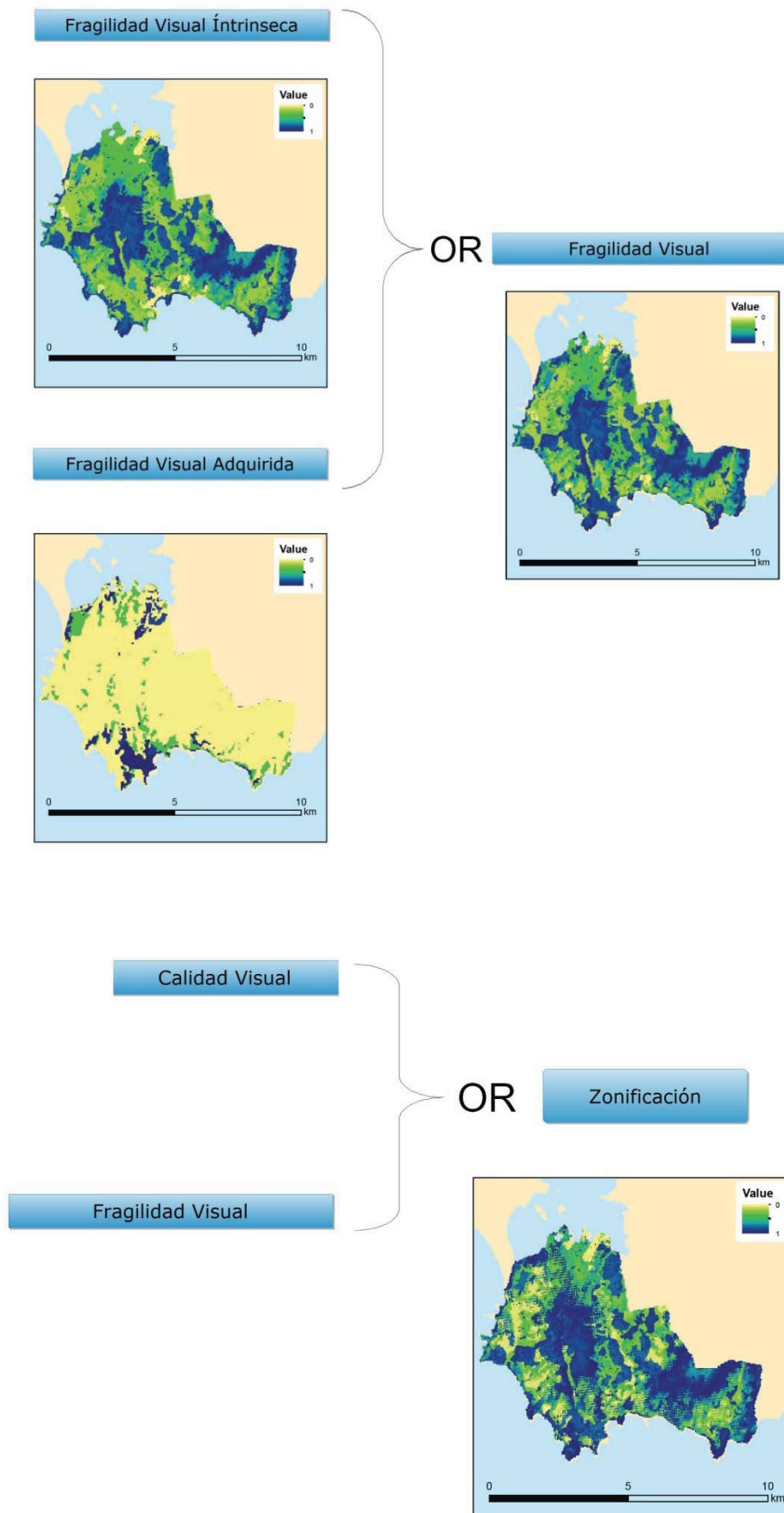


OR

### Calidad Visual







## 4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el trabajo. Cabe destacar que los resultados obtenidos tras incorporar la lógica borrosa son mayores en cuanto a intensidad pero se mantienen las proporciones entre las distintas categorías. Por otro lado, al comparar las zonas de estudio, se ve la tendencia que se presumía cuando se presentaban ambas, es decir, la mayor intensidad de la fragilidad visual adquirida tanto de vías como de núcleos en San Fernando (ver tabla 4) mientras que en el municipio gallego se distribuyen en las primeras categorías (ver tabla 2), así como mayor porcentaje de categorías más altas en la Calidad de Sanxenxo un 40 % (ver tabla 2) en las categorías 3 y 4, frente al 17% que presenta San Fernando (ver tabla 4).

### Sanxenxo

Estos son los % de hectáreas de categorías (de 1 a 5) según la suma lineal ponderada:

	FVI	FVA Vías	FVA Núcleos	FVA	FV	Calidad	Zonificación
1	16%	100%	83%	95%	75%	4%	69%
2	28%	0%	9%	1%	20%	55%	27%
3	33%	0%	2%	4%	4%	36%	4%
4	21%	0%	1%	0%	0%	5%	0%
5	2%	0%	5%	0%	0%	0%	0%

TABLA 2.RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE SLP EN SANXENXO.  
ELABORACIÓN PROPIA.

Resultados obtenidos mediante fuzzy logic, como se obtuvieron raster continuos de 0 a 1, se muestran los % de área cubierta por cada categoría, para lo cual se reclasificaron de 1 a 5.

	FVI	FVA	FV	Calidad	Zonificación
1	27%	83%	27%	0%	11%
2	27%	9%	19%	58%	21%
3	18%	2%	20%	28%	13%
4	14%	1%	18%	11%	25%
5	13%	5%	16%	3%	29%

TABLA 3.RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE FUZZY LOGIC EN SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.

Para este municipio gallego de 4.393 ha se trabajó con un área de 86.420 ha. Además para el estudio de fragilidad visual adquirida se tuvieron en cuenta 229.340 observadores estáticos y 492.700 observadores móviles.

San Fernando de Henares:

Estos son los % de hectáreas de categorías (de 1 a 5) según la suma lineal ponderada:

	FVI	FVA Vías	FVA Núcleos	FVA	FV	Calidad	Zonificación
1	62%	38%	34%	40%	54%	7%	51%
2	28%	10%	5%	2%	9%	75%	37%
3	8%	6%	2%	14%	29%	17%	11%
4	2%	5%	0%	9%	8%	0%	1%
5	0%	41%	58%	35%	1%	0%	0%

TABLA 4.RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE SLP EN SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

Resultados mediante fuzzy logic, como se obtuvieron raster continuos de 0 a 1, se muestran los % de área cubierta por cada categoría, para lo cual se reclasificaron de 1 a 5.

	FVI	FVA	FV	Calidad	Zonificación
1	63%	17%	12%	60%	10%
2	3%	13%	10%	15%	7%
3	11%	5%	8%	8%	6%
4	5%	27%	20%	4%	10%
5	7%	28%	40%	2%	56%

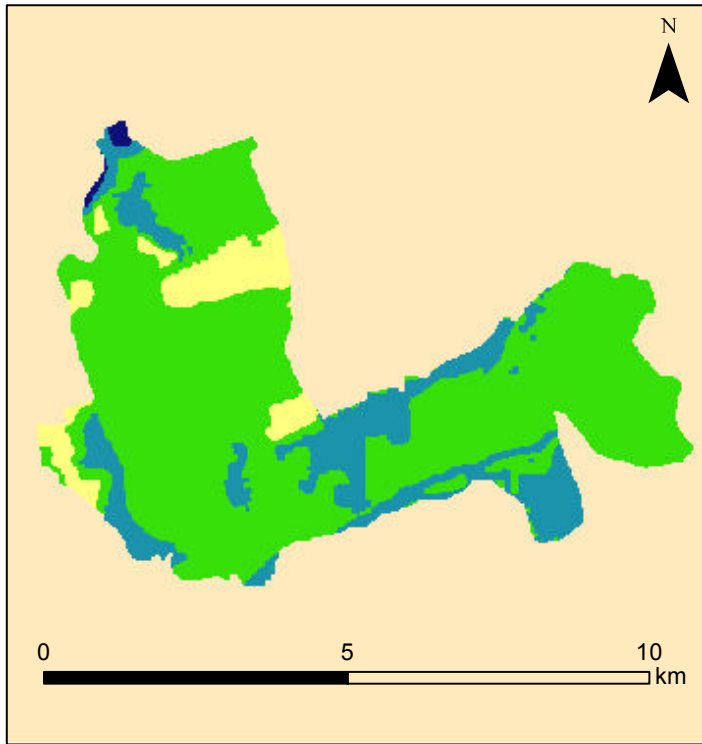
TABLA 5.RESUMEN DE % DE HECTÁREAS DE CADA CATEGORÍA EN CADA VARIABLE MEDIANTE FUZZY LOGIC EN SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

Para este municipio madrileño de 3.986 ha se trabajó con un área de 87.218 ha. Además para el estudio de fragilidad visual adquirida se tuvieron en cuenta 815.097 observadores estáticos y 5.562.490 observadores móviles.

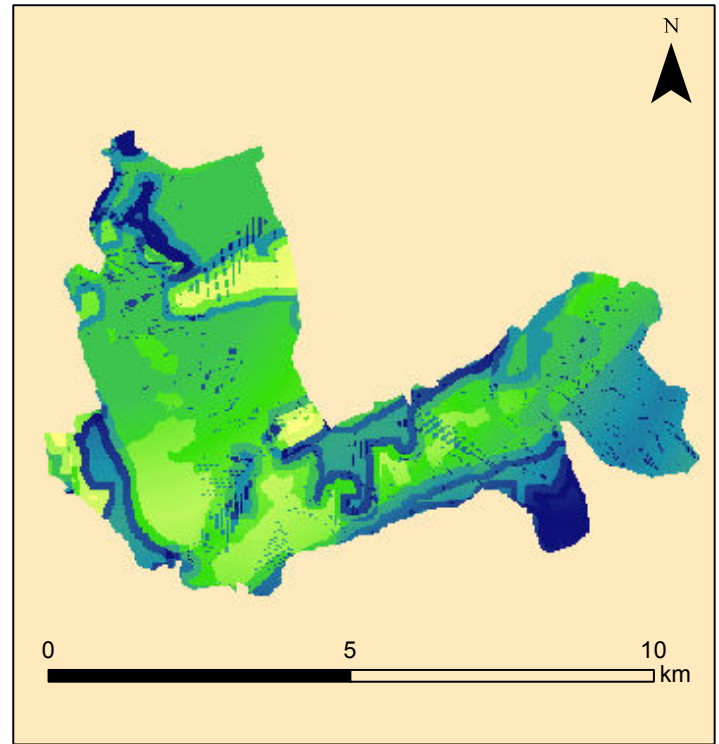
A continuación se muestran los mapas comparativos de los diferentes enfoques:



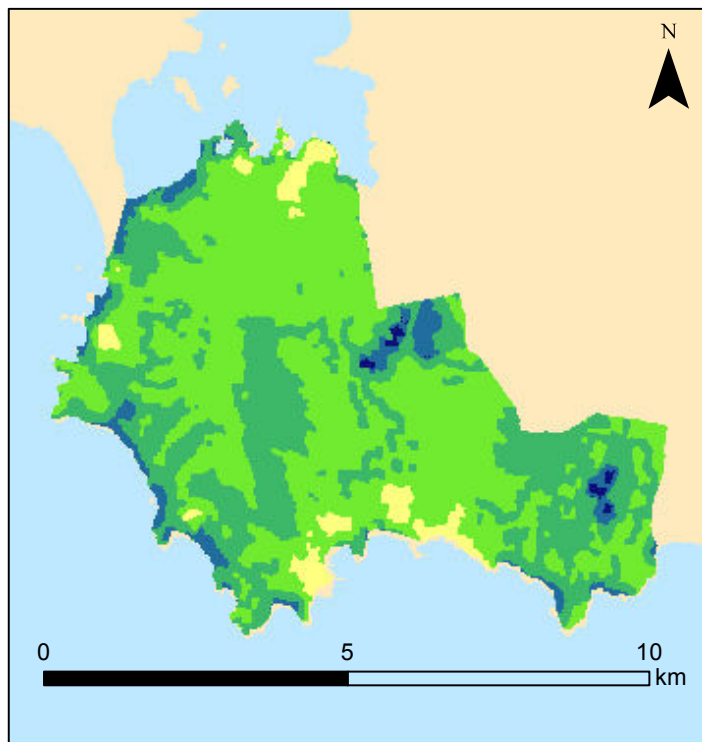
# Calidad visual



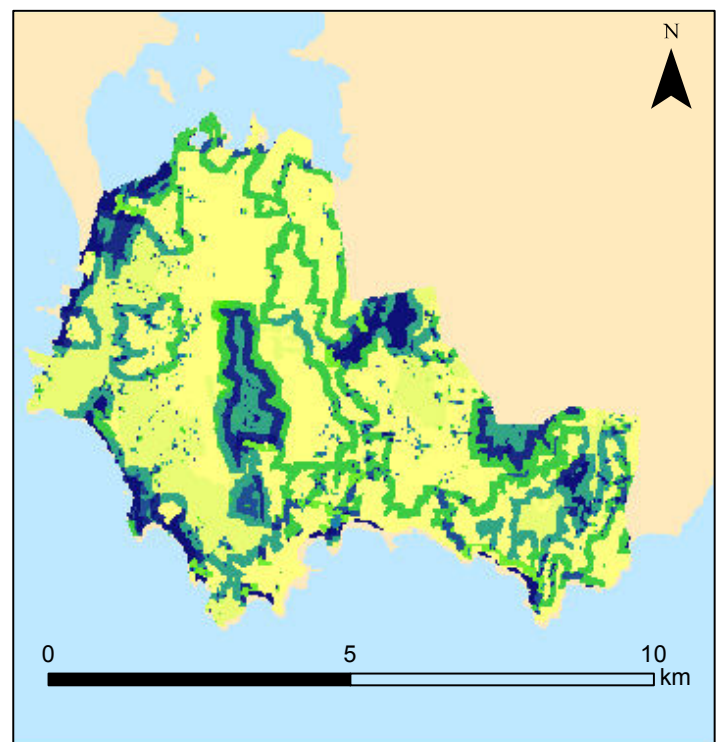
SLP San Fernando.



Lógica borrosa San Fernando.



SLP Sanxenxo.



Lógica borrosa Sanxenxo

## Legenda

SLP	Lógica borrosa
Valores	Value
1	0
2	1
3	
4	
5	

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de Calidad visual en ambas zonas de estudio.

Escala: 125.000

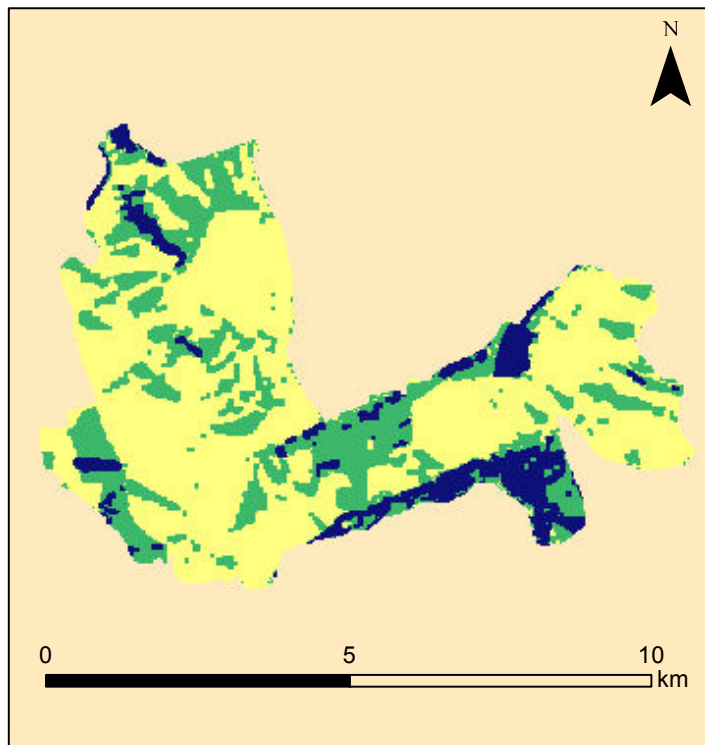
Formato: DIN A4

Proyección: ETRS 1989

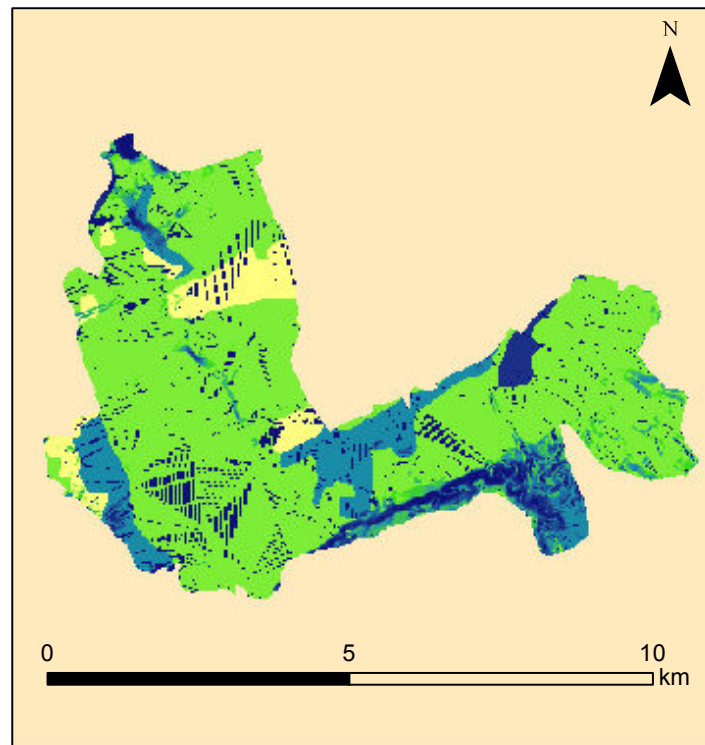
Fuente: Elaboración propia / IGN.



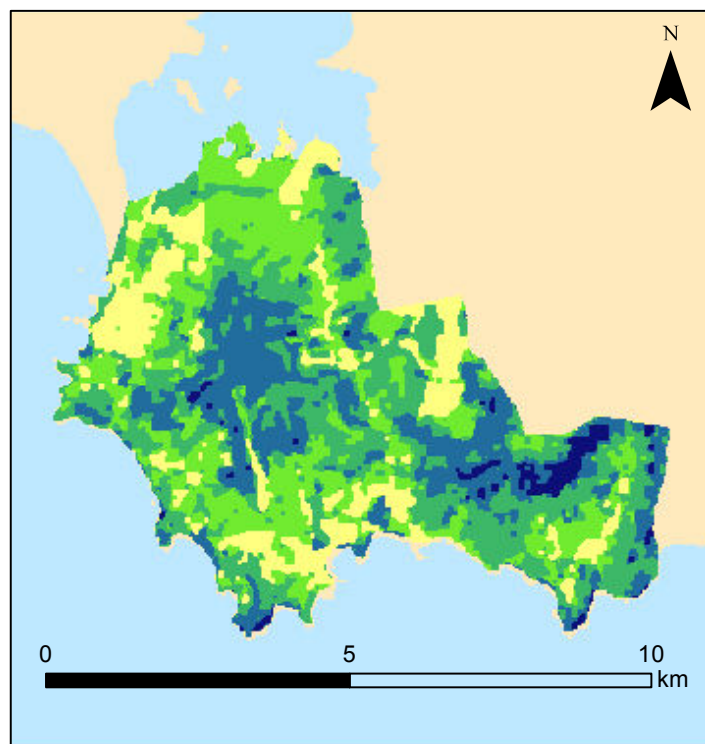
# Fragilidad Visual Intrínseca



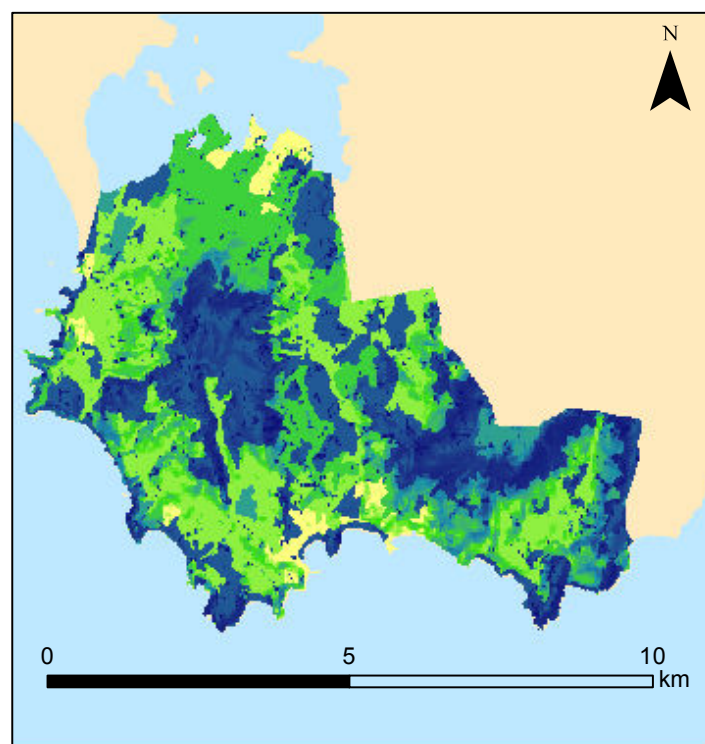
SLP San Fernando.



Lógica borrosa San Fernando.



SLP Sanxenxo.



Lógica borrosa Sanxenxo

## Legenda

### SLP

#### Valores



### Lógica borrosa

#### Value



Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de FVII en ambas zonas de estudio.

Escala: 125.000

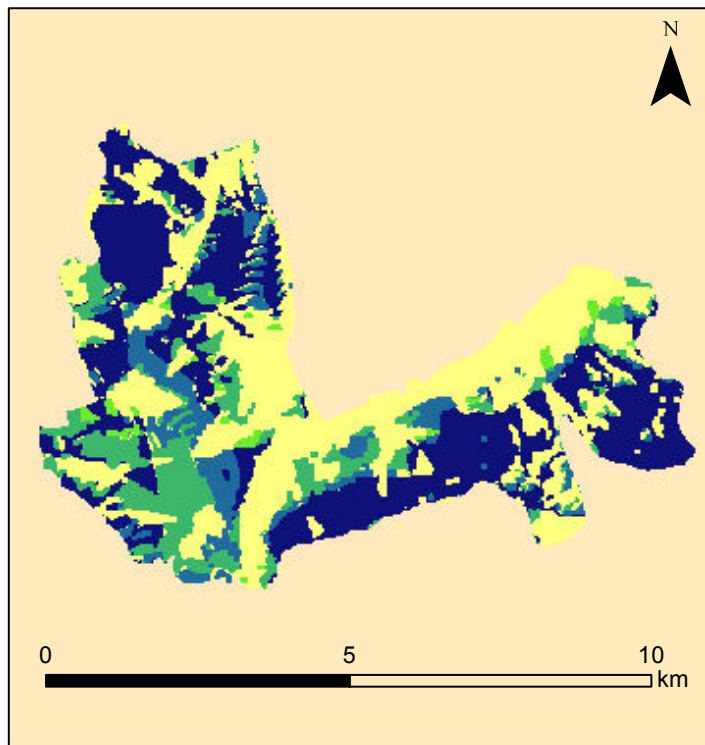
Formato: DIN A4

Proyección: ETRS 1989

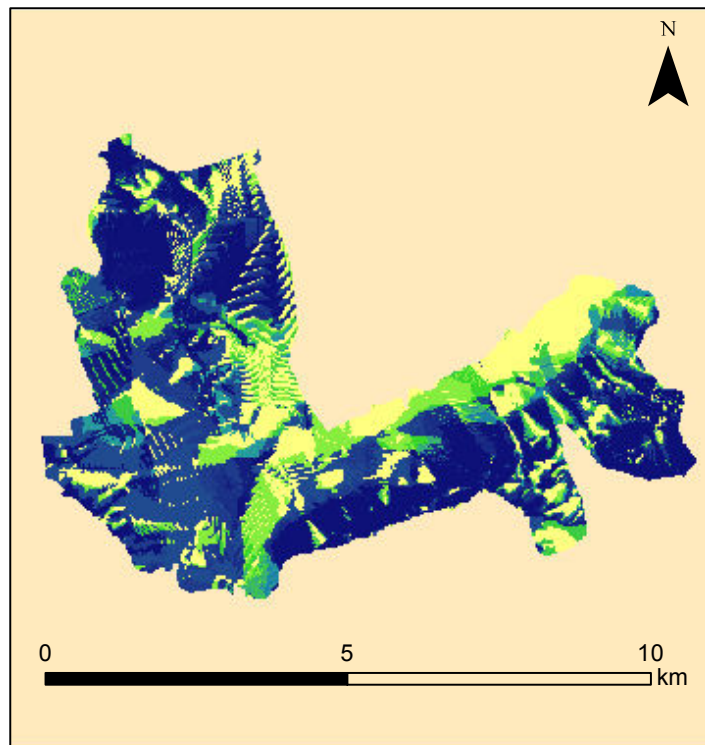
Fuente: Elaboración propia / IGN.



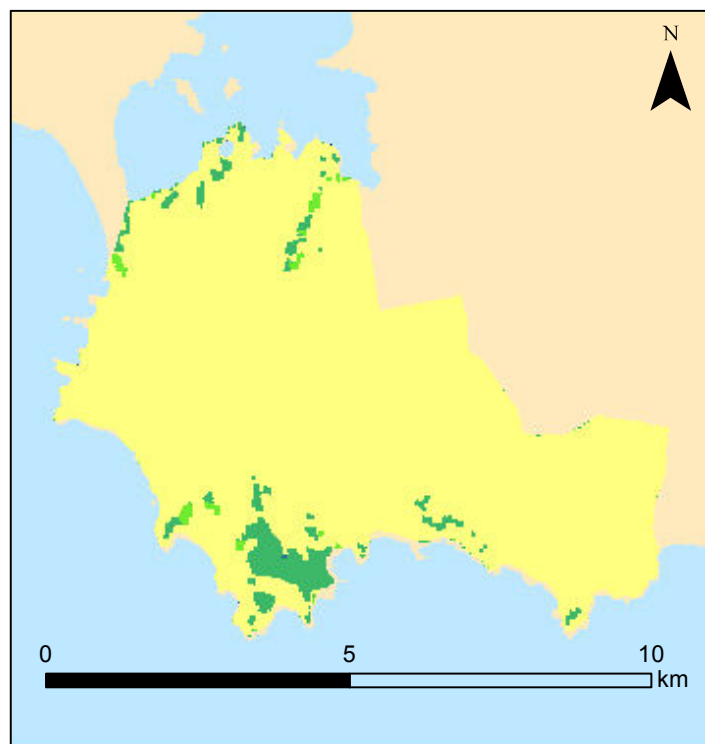
# Fragilidad Visual Adquirida



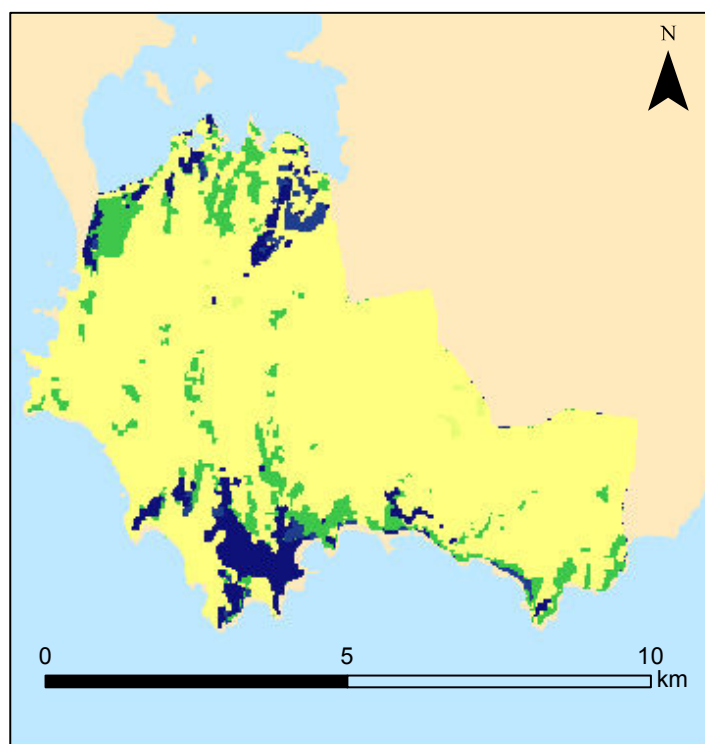
SLP San Fernando.



Lógica borrosa San Fernando.



SLP Sanxenxo.



Lógica borrosa Sanxenxo

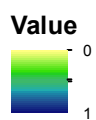
## Leyenda

### SLP

#### Valores



### Lógica borrosa



Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de FVA en ambas zonas de estudio.

Escala: 125.000

Formato: DIN A4

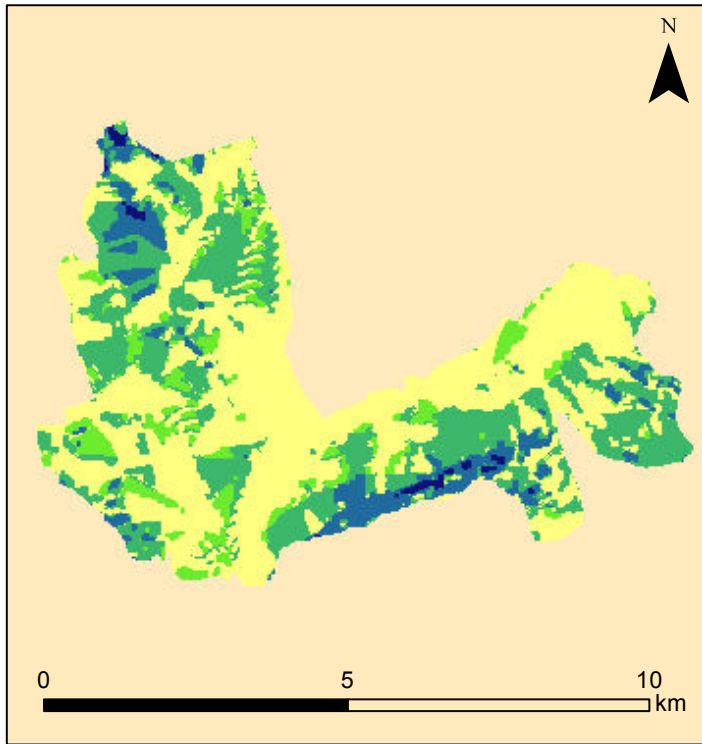
Proyección: ETRS 1989

Fuente: Elaboración propia / IGN.

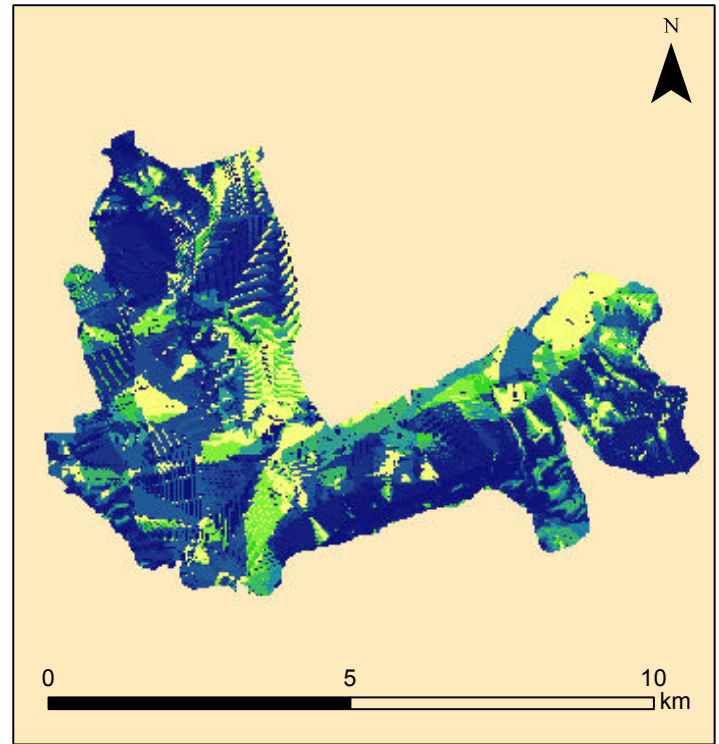




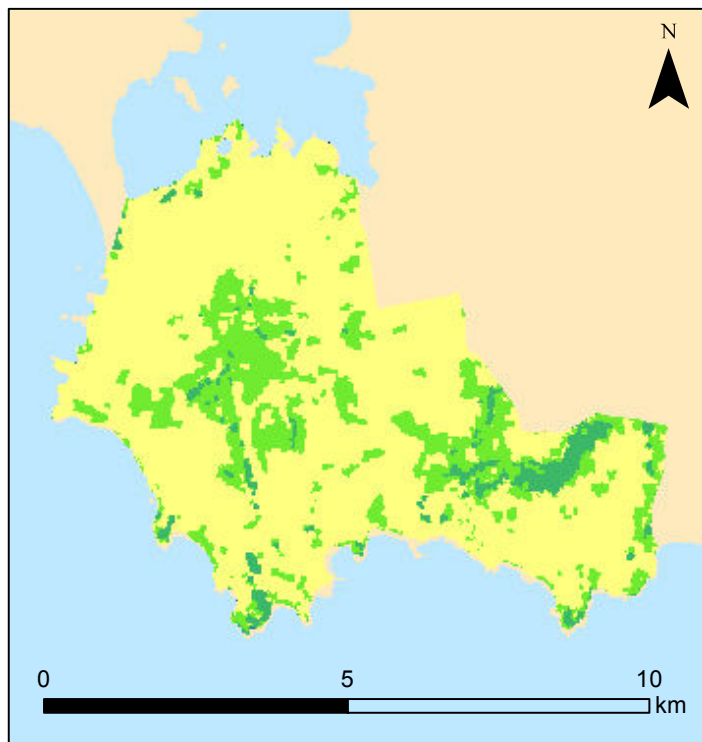
# Fragilidad visual



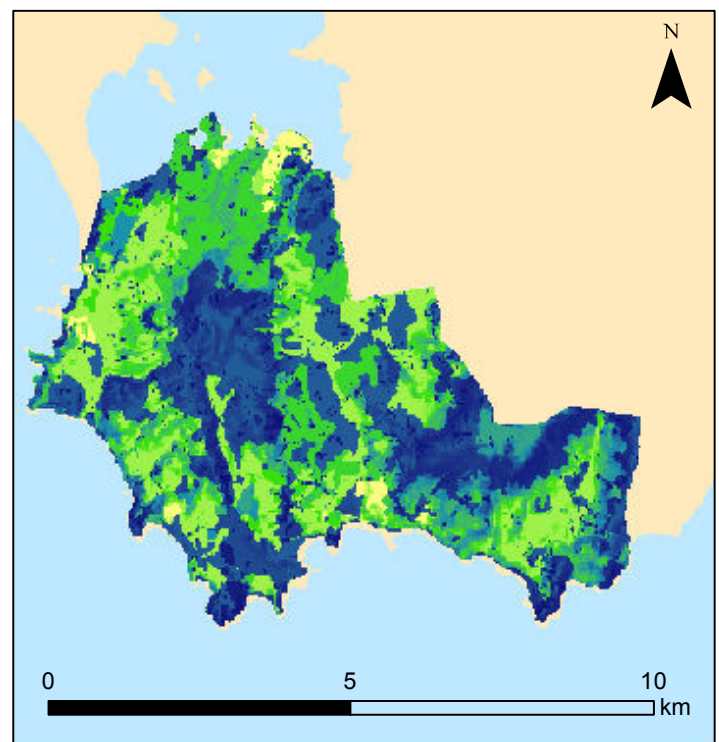
SLP San Fernando.



Lógica borrosa San Fernando.



SLP Sanxenxo.



Lógica borrosa Sanxenxo

## Legenda

SLP	Lógica borrosa
Valores	Value
1	0
2	1
3	
4	
5	

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de FV en ambas zonas de estudio.

Escala: 125.000

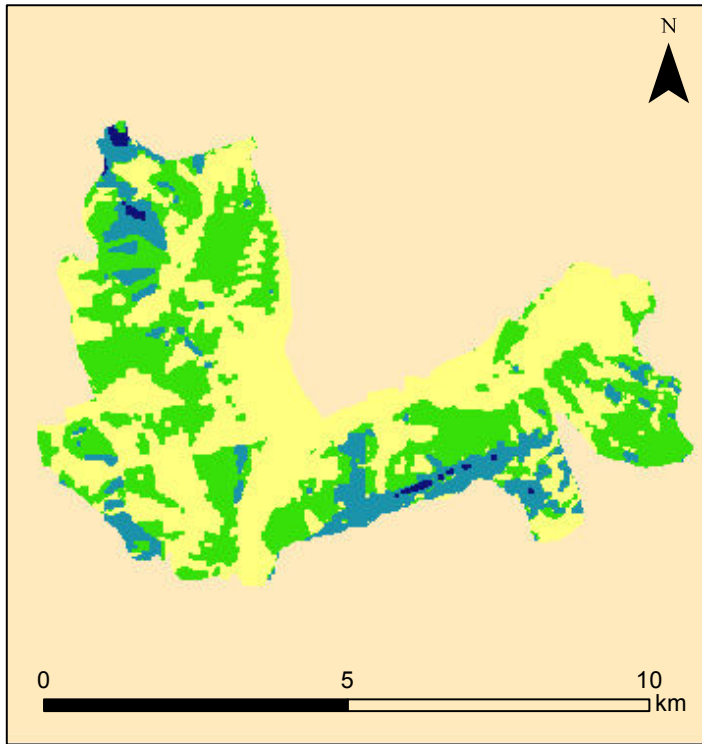
Formato: DIN A4

Proyección: ETRS 1989

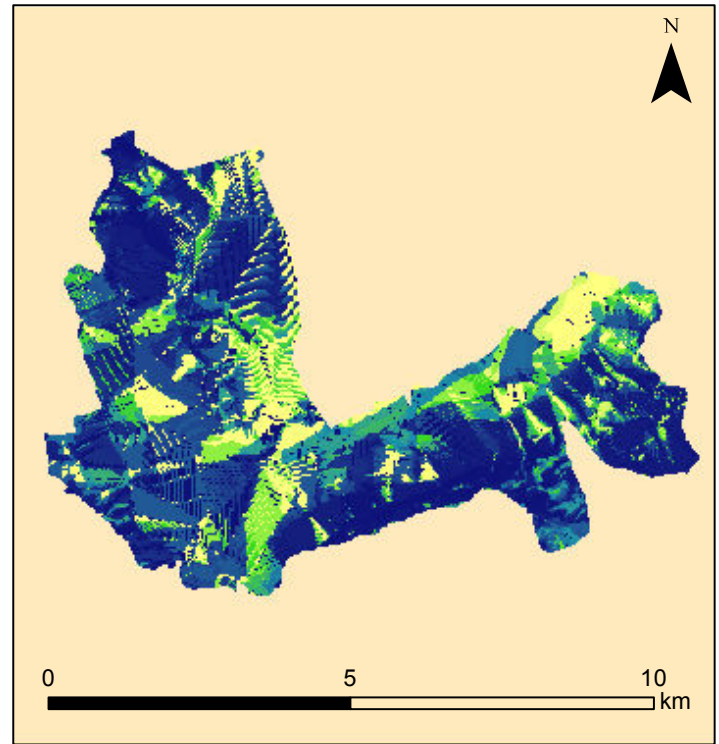
Fuente: Elaboración propia / IGN.



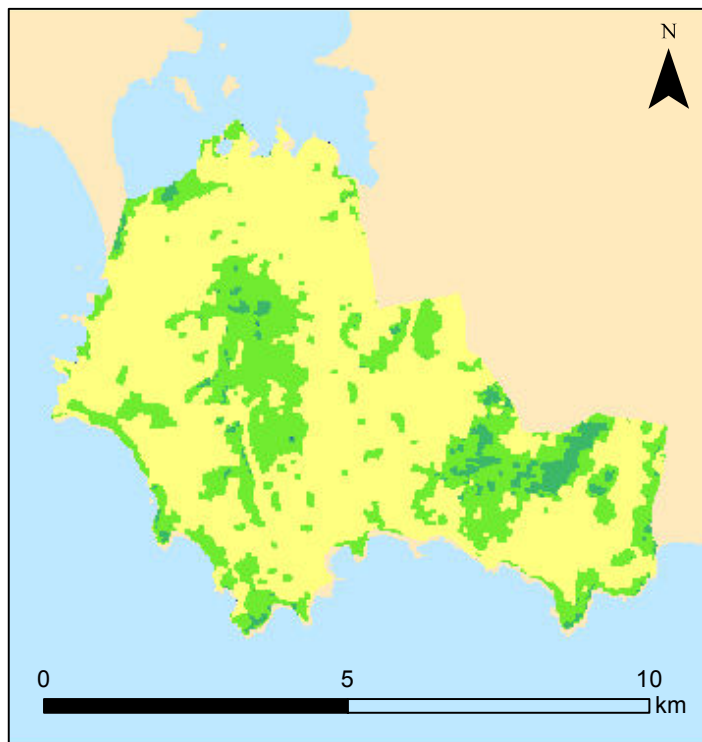
# Zonificación final



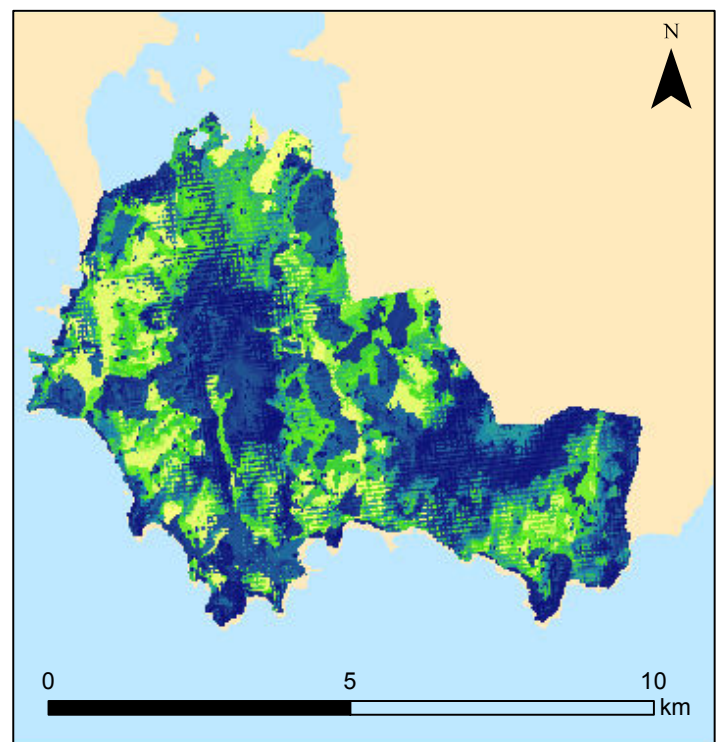
SLP San Fernando.



Lógica borrosa San Fernando.



SLP Sanxenxo.



Lógica borrosa Sanxenxo

## Leyenda

SLP	Lógica borrosa
Valores	Value
1	0
2	1
3	
4	
5	

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de Zonificación final en ambas zonas de estudio.

Escala: 125.000

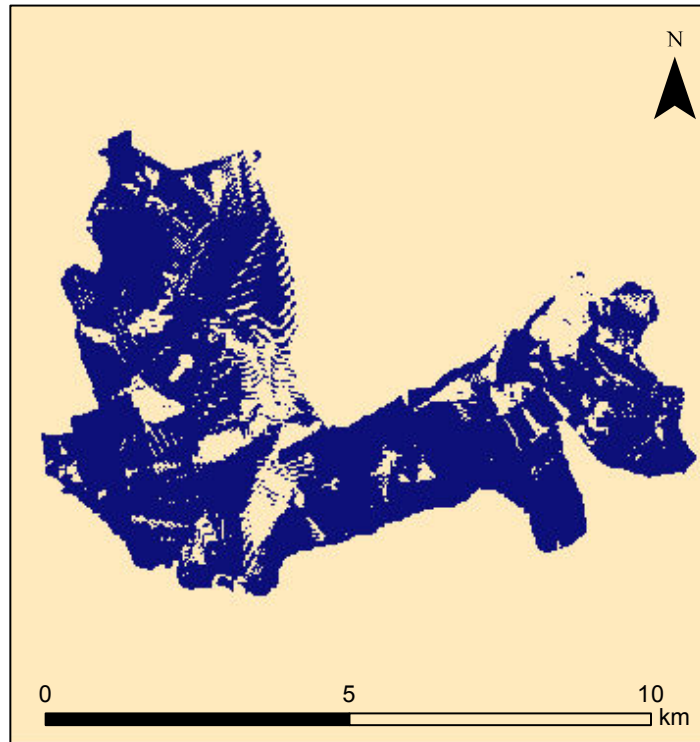
Formato: DIN A4

Proyección: ETRS 1989

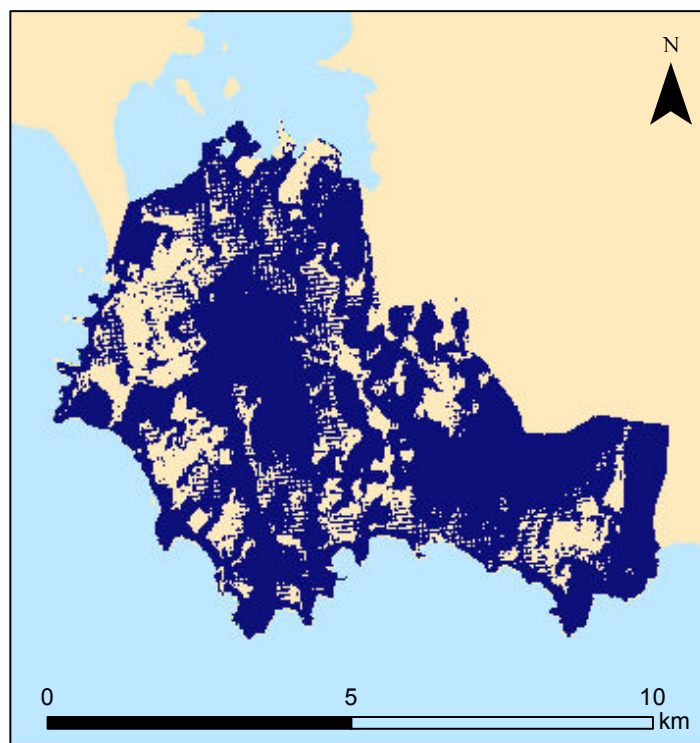
Fuente: Elaboración propia / IGN.



# Defuzzyfication



Defuzzyfication San Fernando.



Defuzzyfication Sanxenxo.

## Leyenda

Defuzzyfication

Valor

 > 0,7

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Comparación de defuzzyfication en ambas zonas de estudio.

Escala:  
125.000

Formato:  
DIN A4

Proyección:  
ETRS 1989

Fuente:  
Elaboración propia / IGN.





## 5. CONCLUSIONES.

### Fuzzy logic vs Suma lineal ponderada

A la vista del presente trabajo ambos enfoques pueden ser muy validos pero hay que tener en cuenta el objetivo del trabajo donde se aplique esta metodología. Son validos porque, como se presentó en los resultados, se mantienen las proporciones en las diferentes categorías pese a su aumento de intensidad, es decir, son resultados coherentes. Como también se comentó, se obtienen resultados esperados en cuanto a la diferencia entre las zonas de estudio, es decir, una fragilidad visual adquirida en San Fernando muy superior a la de Sanxenxo y una calidad visual superior en este frente al municipio madrileño. El aumento de intensidad es debido a la disyunción de conjuntos, a la hora de valorar los criterios en el cálculo de la calidad y fragilidad se decidió que no era necesario tener valores altos en todos los criterios, simplemente con que con uno alto sería suficiente para la calidad y fragilidad. Evidentemente, cuantos más criterios con valores altos, mayor será la calidad y fragilidad.

Con la fuzzy logic podemos modelar información con incertidumbre o falta de nitidez, y operar y razonar con dicha información imprecisa. En nuestro caso, valorando los fuzzy sets en cada característica sobre el universo de pixeles de la zona de estudio y evaluando a partir de ellos, conceptos más desarrollados con conectivos lógicos. También podrían aparecer conceptos nítidos en dichas operaciones, pues son casos particulares de conceptos borrosos que sólo toman grados de pertenencia en  $\{0, 1\}$ . Al no existir una muestra o datos estadísticos, la lógica borrosa es la herramienta que nos permite razonar con dicha información de forma similar a la que lo hacemos los humanos, pero, como todo, tiene ventajas e inconvenientes. Una ventaja muy clara es la precisión con la que se puede ajustar la realidad del territorio (sobre todo en información con valores continuos como pueden ser la altitud, pendiente, orientaciones...) a un simple raster para conseguir un gran resultado en trabajos como búsqueda de zonas potenciales de plantación, sin embargo, presenta una desventaja importante, mientras que el enfoque SLP se tienen categorías perfectamente definidas, con la fuzzy logic obtenemos valores continuos de cero a uno, es decir, para cualquier zona que analicemos tendremos todos los valores de cero a uno donde el máximo valor de la zona A no es comparable al valor máximo de la zona B, por ejemplo, en la zona A tenemos altura máxima 20 m sobre el nivel del mar, este valor pasará a ser 1 tras aplicarle la función de pertenencia correspondiente, en la zona B, el máximo es 400 m que tras el mismo proceso pasa a tener valor uno, las futuras comparaciones serian complicadas de realizar.

Mediante la defuzzyfication se consigue un resultado de gran ayuda en la toma de decisiones, obtenemos un mapa binario con zonas frágiles o no frágiles sin tener que entrar a valorar categorías.

Un posible trabajo futuro, profundizando en la lógica borrosa, sería elegir distintos operadores de t-norma para la disyunción (OR) de predicados. Por ejemplo, usar el máximo, que es la menor de las t-conormas, en lugar de la SUM. También se podría añadir alguna conjunción (AND) para definir predicados partir de otros que sean requisitos, y no baste con que se satisfaga alguno de los predicados que los definen. También sería posible ajustar más los fuzzy sets que modelan los predicados con ayuda de expertos.

### *Sobre la metodología*

El presente trabajo ha demostrado que es posible mediante una metodología que considere variables complejas como la Fragilidad Visual y la Calidad Visual, establecer una zonificación que tome en consideración las variables paisajísticas en los procesos de ordenación territorial, evaluaciones de impacto ambiental....

El modelo propuesto permite, con la sola modificación de la escala a la que se obtienen las variables de origen, su aplicación en ámbitos territoriales extensos, de escala media o incluso en casos particulares de instalaciones o proyectos concretos. Por ejemplo los parámetros derivados de los usos del suelo pueden ser obtenidos de la cartografía temática disponible en los servicios públicos o incluso actualizados mediante teledetección, o bien creado, ex profeso mediante el oportuno trabajo de campo cuando se trate de trabajos de detalle.

El cálculo de la Fragilidad Visual Adquirida mediante la superposición de un gran número de cuencas visuales reduce la subjetividad de los resultados finales y aporta una gran consistencia a los resultados, sin, habida cuenta de los actuales medios tecnológicos, suponer costes excesivos.

La obtención de resultados coherentes y comparables en dos zonas con marcadas diferencias en cuanto a orografía, morfología, usos del suelo y presión antrópica, indica que el modelo propuesto podría ser aplicado en cualquier área.

Una de las claves en la generación del modelo ha sido la minimización de la subjetividad inherente al operador, muy presente en cualquier proceso de valoración paisajística. De esta manera el procedimiento puede ser homologable y sus resultados deben ser coherentes independientemente del operador que aplique la metodología.

El modelo presentado puede evolucionar fácilmente adoptando medidas como la consideración de los fenómenos de ocultación, la ponderación de la evolución pasada de usos del suelo, etc.

El modelo resultante es suficientemente transparente para promover procesos de participación pública ya que los resultados obtenidos carecen de discrecionalidad y es

posible auditar, comprobar y justificar cuales son los factores que más inciden en la clasificación de un determinado área desde el punto de vista paisajístico.

El trabajo en el desarrollo de esta metodología ha demostrado que es muy sensible y eficiente a procesos de mejora continua que permitan adaptar y pulir criterios de clasificación y posible adopción de otros parámetros. Por tanto sería recomendable perseverar en la aplicación de los mismos y en la retroalimentación al modelo con los resultados y su trasposición al territorio.



## 6. REFERENCIAS.

- AGUILÓ, M.; "Metodología para la Evaluación de la Fragilidad Visual del Paisaje". Tesis Doctoral. E.T.S.Ing. De Caminos, Univ. Politécnica de Madrid. 1981
- ARAMBURU, M. P. et al.; "Recomendaciones de diseño y adecuación paisajística del entorno afectado por obras públicas en la Comunidad de Madrid". Comunidad de Madrid, Consejería de Obras Públicas y Transporte, Oficina de Planeamiento Territorial. Departamento de Proyectos y Planificación Rural, E.T.S. de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. 1989
- AZNAR BELLVER, J., GUIJARRO MARTINEZ, F.; " Modelos de valoración económica de obras de arte pictóricas: valoración por intervalos" El comportamiento de la empresa ante entornos dinámicos XV Congreso Hispano Francés de AEDEM, Universidad del País Vasco, Vitoria. 2005
- BARREDO CANO, J. I., & GÓMEZ DELGADO, M.; " Sistemas de Información Geográfica y evaluacion multicriterio en la ordenación del territorio." (p.2312). 2005
- BISHOP, I; "Determination of thresholds of visual impact: the case of wind turbines". Environment And Planning B-Planning & Design, 29 (5): 707-718 SEP 2002 ISSN: 0265-8135. 2002
- BISHOP, I; "Assessment of visual qualities, impacts, and behaviours, in the landscape, by using measures of visibility". Environment And Planning B-Planning & Design, 30 (5): 677-688 SEP 2003 ISSN: 0265-8135. 2003
- CIFUENTES, P. et al.; " Nuevo acceso ferroviario a Andalucía. Tramos: Urda - Ciudad Real y Ciudad Real - Veredas. Estudio de Impacto Ambiental. Estudio de Restauración Ambiental y paisajística. Proyecto de mantenimiento para 1992 - 1994 de la actuación de restauración". II Máster EIA. Departamento de Proyectos y Planificación Rural, E.T.S. de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. 1992.
- DANIEL TC, VINNING J;"Methodological issues in the assessment of landscape quality". Altman I & JF Wohlwil (eds) Behavior and natural environment. Freeman & Company, New York, New York, USA. 1983
- DIAKOULAKI, D., MAVROTAS, G., PAPAYANNAKIS, L.; " Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method". Computers & Operations Research 22 (7), 763-770. 1995
- ESCRIBANO, M. et al; "El Paisaje. Unidades Temáticas Ambientales de la Dirección General del Medio Ambiente". MOPU, Madrid. 107 pp. 1987

FISHER, PF; "An Exploration Of Probable Viewsheds In Landscape Planning". Environment And Planning B-Planning & Design, 22 (5): 527-546 SEP 1995 ISSN: 0265-8135. 1995

GROVES, D. L.; KAHALAS, H.; "A method to determine personal values". Journal of Environmental Management: 303-324. 1976

MONTOYA AYALA, RAYMUNDO et. al.; "Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje en el valle de Zepotitlán de las salinas, Puebla (México)". 2003

MOPTMA; "Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología". 2004.

OTERO PASTOR, I.; GONZÁLEZ ALGARRA, E.; MORENO CUESTA, E; "Utilización de los Sistemas de Información Geográfica para el Análisis y Valoración de Cambios Paisajísticos". IX Conferencia Iberoamericana de SIG / VII Congreso nacional de la Asociación Española de Sistemas de Información Geografica / II Reunión del Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio Universidad de Extremadura. ISBN: 84-7723- 661-5. 2003

OTERO, I.; NOVOA, J. C; y HERNÁNDEZ, M.; "Valoración del Paisaje y del Impacto Paisajístico de las Construcciones en el Páramo Leonés". Mapping. Revista de Cartografía, SIQ Teledetección y medioambiente. Mayo, 30, pp. 52-74. 1996

POLAKOSKI, K.; "Landscape assessment of the Upper Great Lakes basin resources: a macro-geomorphic and micro-composition analysis". 1975

RAMOS et al.; "Visual Landscape Evaluation. A grid Technique. Landscape Planning", n. 3, pp. 67 - 88. 1986.

TURNER et al. ;"A Visibility graphs and landscape visibility analysis" International Journal Of Geographical Information Science, 15 (3): 221-237. 2001.

TVEIT, M et. al. (2006):"Key concepts in a framework for analysing visual landscape character", Landscape Research, 31:3, 229- 55. 2003

USDA FOREST SERVICE;" National forest landscape management", Volume 2, chapter 1: the visual management system. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 462. U.S. Government Printing Office, Washington, District of Columbia. 47 pp. 1974

ZELENY, M.; " Multiple criteria decision making". McGrawHill, New York. 1982

## ANEXO 1. Herramientas usadas de ArcGis.

Estas son las principales herramientas usadas en el desarrollo:

**Slope:** determinar las variaciones de inclinación entre los diferentes píxeles de un archivo ráster. De esta forma, ArcMap permite obtener pendientes haciendo una relación entre el desnivel y la distancia horizontal a recorrer entre dos puntos.

Para realizar este tipo de análisis, al igual que otros análisis sobre rasters, ArcMap necesita establecer relaciones entre una celda y sus celdas inmediatamente vecinas, es decir las celdas que se encuentran a ambos lados. Por tanto el análisis lo realiza en grupo de celdas de 3x3. Ésta pendiente puede ser expresada en porcentaje o en grados.

**Aspect:** En múltiples ocasiones, las pendientes van asociadas a valores de orientación respecto a un punto geográfico. Por ello suele ser común el análisis de orientación de laderas respecto al Norte, Sur, Este y Oeste. 3D Analyst permite obtener un nuevo archivo raster que identifica las variaciones geográficas respecto a los puntos cardinales identificando las direcciones que llevan las pendientes. A cada valor de dirección y orientación en cada pixel se le asigna un color para formar el archivo raster final.

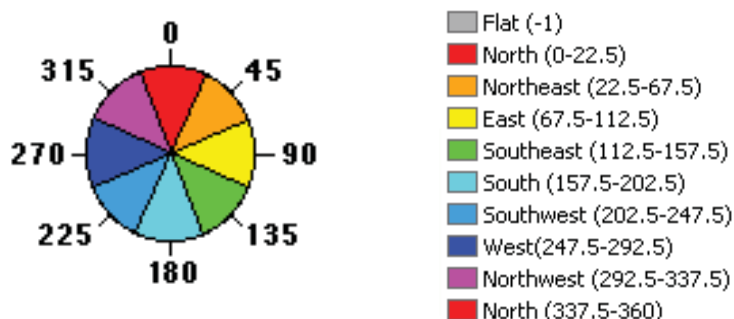


FIGURA 23. IMAGEN ILUSTRATIVA DE LAS EXPOSICIONES SOLARES. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

**Viewshed:** Los mapas de visibilidad son una herramienta importantísima a la hora de desarrollar análisis de visibilidad de impactos o calidad de paisaje. Además, apoyándonos en archivos 3D es posible visualizar la zona mediante ortofotos bajo Modelos Digitales de Terreno y observar resultados matemáticamente sin necesidad de ser visualizado sobre terreno.

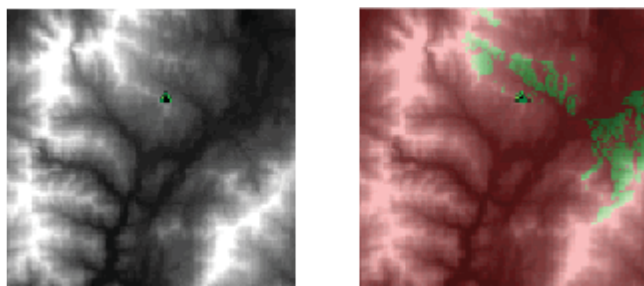
Para crear un mapa de visibilidad a partir de puntos es necesario tener como referencia ese tipo de puntos. Los puntos pueden ser emplazamientos estratégicos, torretas forestales, industrias, yacimientos... Las capas a utilizar podrán ser:



Archivos shapefiles con valores X, Y, Z: ArcMap empleará sus coordenadas para determinar, desde esa altitud, aquellas zonas de visibilidad.

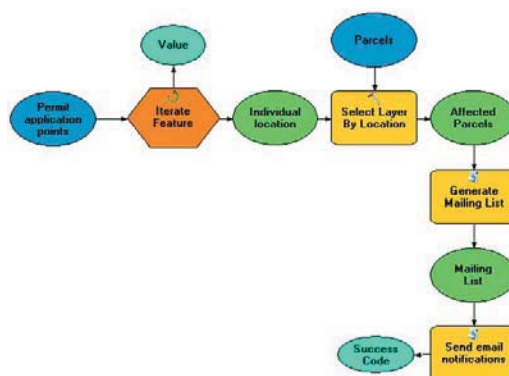
Archivos shapefiles con valores X, Y: ArcMap interpolará, a partir del archivo GRID introducido, su correspondiente altitud y realizará el mapa de visibilidad desde la cota de intersección entre el punto del shapefile y la superficie del archivo GRID. En primer lugar se crea un archivo shapefile donde se incluirá el punto o puntos a partir de los cuales se desea realizar el mapa de visibilidad.

En el ejemplo siguiente, aparece el viewshed de una torre de observación. La primera imagen muestra el MDE (más oscuro representa las elevaciones más bajas), y la torre de observación se marca como un triángulo verde. La altura de la torre de observación se puede especificar en el análisis. En la segunda imagen se ven las celdas verdes visibles desde la torre de observación, mientras que las celdas en rojo no.



*FIGURA 24. IMAGEN ILUSTRATIVA DE UN VIEWSHEED. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

**ModelBuilder:** es una aplicación que se utiliza para crear, editar y gestionar modelos. Los modelos son los flujos de trabajo que cruzan las secuencias de las herramientas de geoprocésamiento, la alimentación de la salida de una herramienta en otra herramienta como entrada.



*FIGURA 25. IMAGEN ILUSTRATIVA DE UN MODELO REALIZADO CON MODEL BUILDER. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

**Fuzzy membership:** reclasifica o transforma los datos de entrada a una escala de 0 a 1 basada en la posibilidad de ser miembro de un conjunto especificado. 0 es asignado a esos lugares que no son del conjunto, 1 se asigna a los valores que si lo son.

A continuación se presenta un análisis de cada una de las siete funciones de pertenencia difusa.

#### Fuzzy gaussiana

La función de Gauss transforma los valores originales en una distribución normal. El punto medio de la distribución normal define el punto ideal para el conjunto y se le asigna un 1, para los valores de entrada restantes decrecen a medida que se alejan del punto medio en ambas direcciones.

Por ejemplo, en un modelo de adecuación de vivienda, por la exposición solar, en el sur puede ser el aspecto ideal para construir.

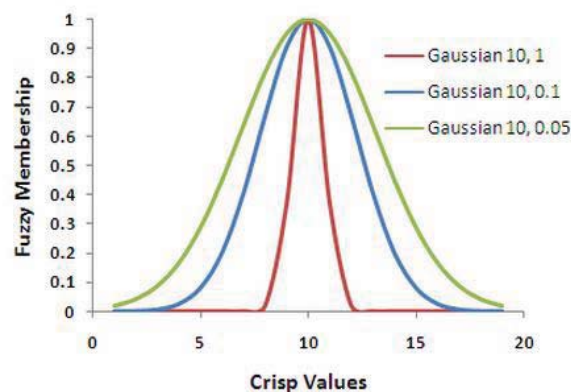
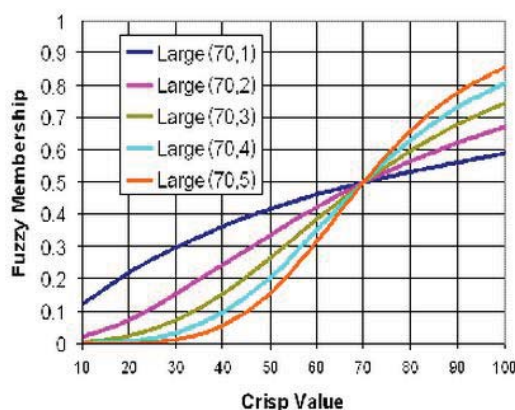


FIGURA 26 IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY GAUSSIANA. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.

### Fuzzy large

Se utiliza cuando los valores de entrada más grandes son más propensos a ser miembros del conjunto. El punto medio se define como el punto de cruce con valores mayores que el punto medio a partir del cual existe una mayor posibilidad de ser un miembro del conjunto y los valores por debajo, menor.

En el modelo de idoneidad de vivienda, transforma los valores de la distancia a un vertedero. Cuanto más lejos de un vertedero, más probable es que sea un miembro del conjunto.



*FIGURA 27. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY LARGE. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

### Fuzzy lineal

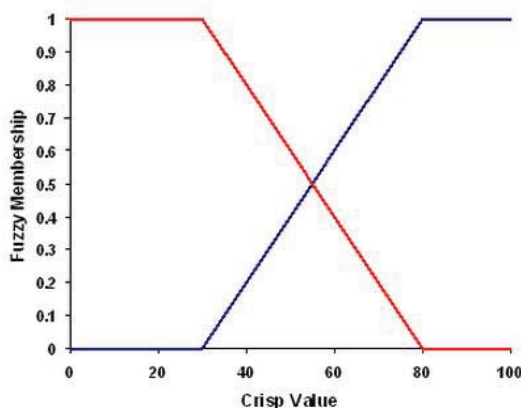
Se aplica una función lineal entre el mínimo especificado por el usuario y los valores máximos. Cualquier cosa por debajo del mínimo se le asignará un 0 (sin duda no es miembro) y cualquier cosa por encima del máximo de 1 (sin duda, forma parte del conjunto). La línea azul en la imagen siguiente representa una positiva transformación pendiente lineal con un mínimo de 30 y un máximo de 80. Cualquier valor por debajo de 30 se le asignará un cero y algo por encima de 80 a 1.

Si el mínimo es mayor que el máximo se establece una relación negativa. La línea roja en la imagen siguiente representa una transformación lineal de pendiente negativa. Cualquier valor inferior a 30 se le asignará un 1 y cualquier cosa por encima de 80 a 0.

La función de transformación lineal aproximada en el ejemplo idoneidad de vivienda puede ser utilizado para la distancia desde zonas de recreo (una transformación lineal negativa). Cualquier lugar que esté a menos de 500 metros de una zona de recreo podría ser sin duda perteneciente al conjunto, mientras que entre 500 y 10.000 metros



disminuye linealmente en la posibilidad de estar en el conjunto adecuado, y cualquier lugar más allá de 10.000 metros sería demasiado lejos y se le asigna un 0.



*FIGURA 28. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY LINEAL. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

### Fuzzy MS Grande

Es similar a large, excepto la definición de la función se basa en una media especificada y la desviación estándar. En general, la diferencia entre las dos funciones es que la función Fuzzy MS large puede ser más aplicable si los valores muy grandes son más propensos a pertenecer al conjunto.

El resultado puede ser similar a la función large dependiendo de cómo se definen los multiplicadores de la media y la desviación estándar.

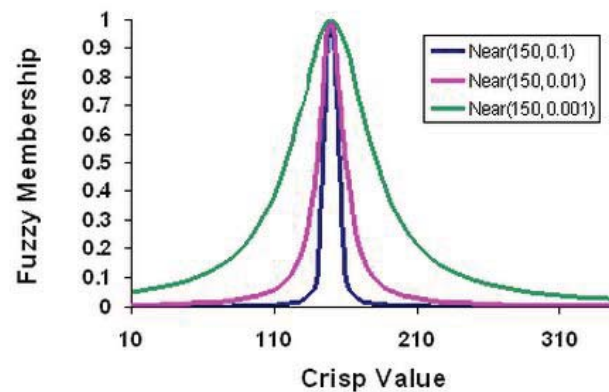
### Fuzzy Pequeña MS

Similar a small, excepto la definición de la función se basa en una media especificada y la desviación estándar. En general, la diferencia entre las dos funciones es que la función Fuzzy MS small puede ser más aplicable si los valores muy pequeños son más propensos a pertenecer al conjunto.

El resultado puede ser similar a la función small dependiendo de cómo los multiplicadores de la desviación media y estándar.

### Fuzzy Near

Similar a la gaussiana.

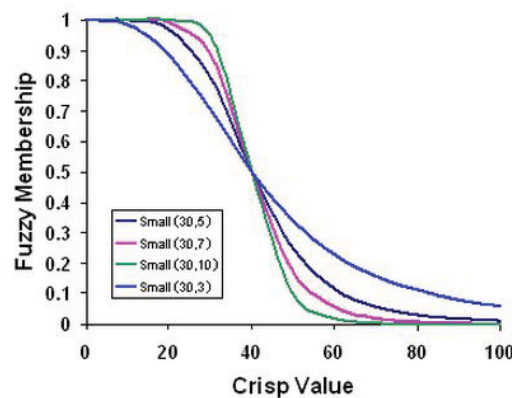


*FIGURA 29. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY NEAR. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

### Fuzzy Pequeña

Se utiliza cuando los valores de entrada más pequeños son más propensos a pertenecer al conjunto. El punto medio se define como el punto de cruce con valores mayores que el punto medio a partir del cual existe una menor posibilidad de pertenecer al conjunto y los valores por debajo mayor.

En el ejemplo de idoneidad de vivienda puede ser utilizado para la distancia a líneas de alta tensión. Cuanto más nos alejemos de ellas, más caro será el acceso a la energía y peor para nuestra situación ideal.



*FIGURA 30. IMAGEN ILUSTRATIVA DE FUZZY SMALL. MANUAL DE AYUDA DE ESRI.*

### *Fuzzy overlay*

La herramienta de superposición difusa analiza el nivel de pertenencia de un fenómeno a conjuntos definidos, es decir, calcula la probabilidad que un pixel pertenezca a una a un conjunto definido por una serie de criterios.

A continuación se enumeran los distintos tipos de superposición:

#### Fuzzy AND

Devolverá el valor mínimo de los conjuntos de la ubicación de la celda pertenece. Esta técnica es útil cuando se quiere identificar el mínimo común denominador para todos los miembros de todos los criterios de entrada. Por ejemplo, en un modelo de adecuación de vivienda, para seleccionar los lugares que tienen al menos un 0,5 o más probabilidad de ser adecuado para todos los criterios.

$$\text{fuzzyAndValue} = \min (\text{arg1}, \dots, \text{argn})$$

#### Fuzzy OR

Devolverá el valor máximo de los conjuntos de la ubicación de la celda pertenece. Esta técnica es útil cuando se quiere identificar los valores más altos de afiliación. Por ejemplo, en un modelo de adecuación de vivienda, para identificar todos los lugares que tienen al menos uno de los criterios son totalmente ideales.

$$\text{fuzzyOrValue} = \max (\text{arg1}, \dots, \text{argn})$$

#### Fuzzy PRODUCT

Será, para cada celda, multiplicar cada uno de los valores difusos por todos los criterios de entrada. El producto resultante será menor que cualquiera de la entrada. No se utiliza a menudo.

$$\text{fuzzyProductValue} = \text{producto} (\text{arg1}, \dots, \text{argn})$$

#### Fuzzy SUM

Añade los valores difusos de cada conjunto de la ubicación de la celda pertenece. La suma resultante es una función creciente combinación lineal que se basa en el número de criterios introducidos en el análisis.



Suma aproximada no es una suma algebraica y no debe confundirse con el enfoque aditivo utilizado en la superposición ponderada y herramientas suma ponderada. La opción de la suma aproximada no se utiliza a menudo.

$$\text{fuzzySumValue} = 1 - \text{producto} (1 - \text{arg1}, \dots, 1 - \text{argn})$$

### Gamma Fuzzy

El tipo Gamma difusa es un producto algebraico de producto Fuzzy y la suma de aproximación, que son a la vez elevados a gamma.

$$\mu(x) = (\text{FuzzySum})^\gamma * (\text{FuzzyProduct})^{1-\gamma}$$

## ANEXO 2. Análisis estadístico de la zonificación.

A continuación el análisis estadístico de los resultados. Primeramente se analizó el índice de Moran para la zonificación final:

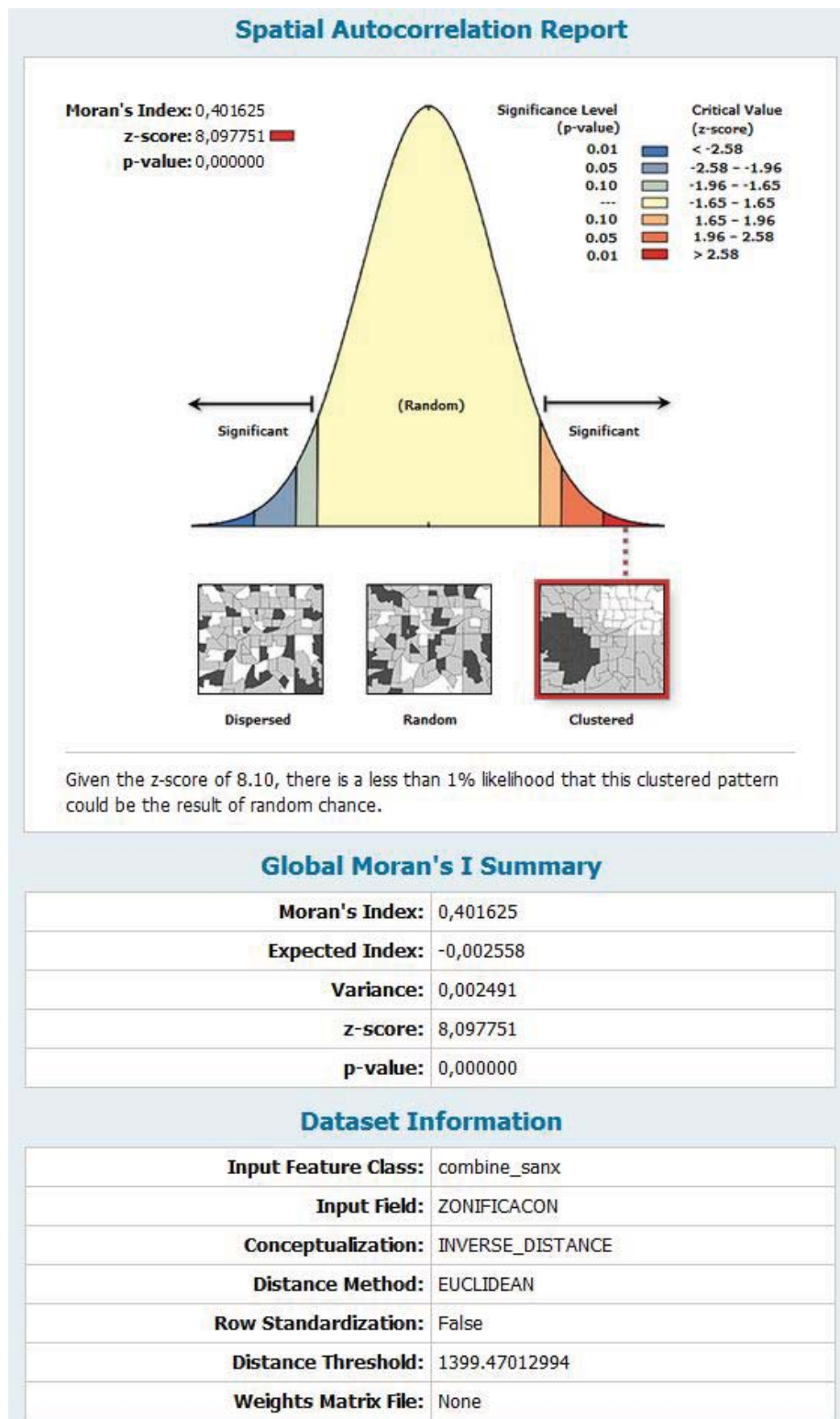


FIGURA 31. RESUMEN DE ESTUDIO DE CORRELACIÓN PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO.. ELABORACIÓN PROPIA.

El z-score de 8.1 indica que hay menos de un 1% de que esta zonificación se consiga aleatoriamente.

Una vez analizada la autocorrelación espacial de la zonificación se procedió a realizar un análisis de regresión espacial para aportar solidez, corroborar y cuantificar, con la ayuda del arcgis y el Estadística, el comportamiento de las variables utilizadas, es decir, comprobar que la zonificación estaba determinada por la calidad y la fragilidad visual que a su vez lo estaba por la adquirida y la intrínseca.

Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales para tratar de cuantificar las relaciones entre las variables.

A continuación se muestra la matriz de correlaciones:

Variable	Correlations (Export_Output) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=209 (Casewise deletion of missing data)							
	Means	Std.Dev.	Calidad	FV	FVI	FVA	fva n	fva v
Calidad	2,550239	0,870793	1,000000	0,287950	0,519964	-0,009860	-0,019389	0,00630
FV	2,344498	1,215280	0,287950	1,000000	0,575813	0,760229	0,563537	0,51599
FVI	2,559809	1,227690	0,519964	0,575813	1,000000	-0,003051	-0,010736	0,01485
FVA	2,770335	1,449430	-0,009860	0,760229	-0,003051	1,000000	0,744743	0,65671
fva n	2,875598	1,621321	-0,019389	0,563537	-0,010736	0,744743	1,000000	0,05533
fva v	3,028708	1,486846	0,006307	0,515996	0,014858	0,656718	0,055336	1,00000

TABLA 6 .MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez más se observa claramente lo que ya se sabe, es decir, alta correlación de FVA con FVA de núcleos y de vías, también destacar la relación entre FV con FVI y FVA y una relación más débil de la calidad con la FVI.

Por otro lado, se observa la nula relación de la calidad y FVI con la FVA y FVA de núcleos y vías.

Son las mismas conclusiones que observamos en el análisis realizado con el arcgis.

Esta es la matriz de valores propios:

Value number	Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (Export_Output) Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	2,796428	46,60713	2,796428	46,6071
2	1,634263	27,23772	4,430691	73,8448
3	0,944183	15,73638	5,374874	89,5812
4	0,534819	8,91364	5,909693	98,4949
5	0,060803	1,01338	5,970495	99,5083
6	0,029505	0,49175	6,000000	100,0000

TABLA 7 .MATRIZ DE EIGENVALUES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

Las dos primeras filas con valores propios por encima de 1 acumulan un 74 % de la varianza total, son la Calidad y la FV, si le sumamos la tercera que es la FVI llega al 90%.

La siguiente imagen ilustrar la situación de una manera sencilla:

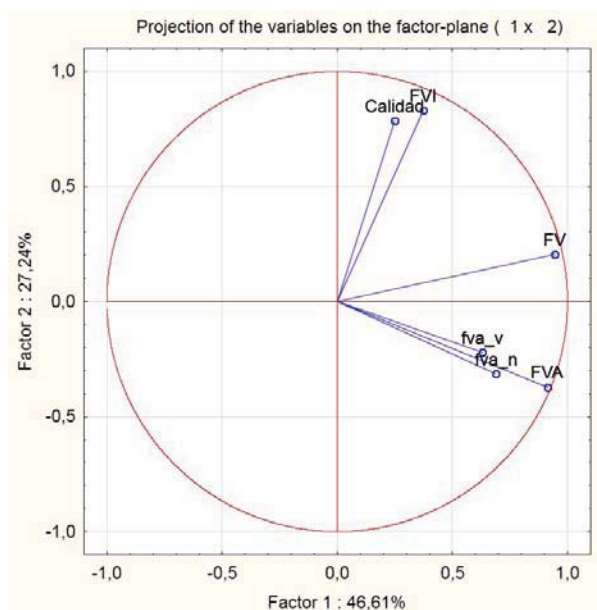


FIGURA 32. PROYECCIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE SAN FERNANDO. ELABORACIÓN PROPIA.

Por un lado, la FVA relacionada con los núcleos y las vías, por otro, una relación no tan fuerte de la calidad con la FVI y, finalmente, la FV producto de la FVI y la FVA, esta última con mayor intensidad en la correlación.

En el análisis de Sanxenxo se obtienen los mismos resultados en términos de índice  $R^2$ , sin embargo, cabe destacar que por ser la IMD de las vías presentes en el estudio mucho menor, cambian ligeramente la matriz de correlaciones y la matriz de valores propios, es decir, cambia la intensidad de la correlación de las variables originales en la fragilidad final.

Esta es la matriz de correlaciones muy similar a la anterior.

Correlations (combi_normal)								
Marked correlations are significant at $p < ,05000$								
N=180 (Casewise deletion of missing data)								
Variable	Means	Std.Dev.	Calidad	FV	FVA	fva_n	fva_v	FVI
Calidad	2,911111	1,211163	1,000000	0,266429	-0,025191	0,014104	-0,069386	0,3598
FV	2,127778	1,108779	0,266429	1,000000	0,512511	0,436334	0,240428	0,7789
FVA	1,900000	1,025376	-0,025191	0,512511	1,000000	0,872914	0,357769	-0,0224
fva_n	3,077778	1,388120	0,014104	0,436334	0,872914	1,000000	0,083561	-0,0319
fva_v	1,411111	0,493408	-0,069386	0,240428	0,357769	0,083561	1,000000	0,0543
FVI	3,072222	1,386409	0,359834	0,778953	-0,022400	-0,031964	0,054354	1,0000

TABLA 8. MATRIZ DE CORRELACIONES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO.. ELABORACIÓN PROPIA.



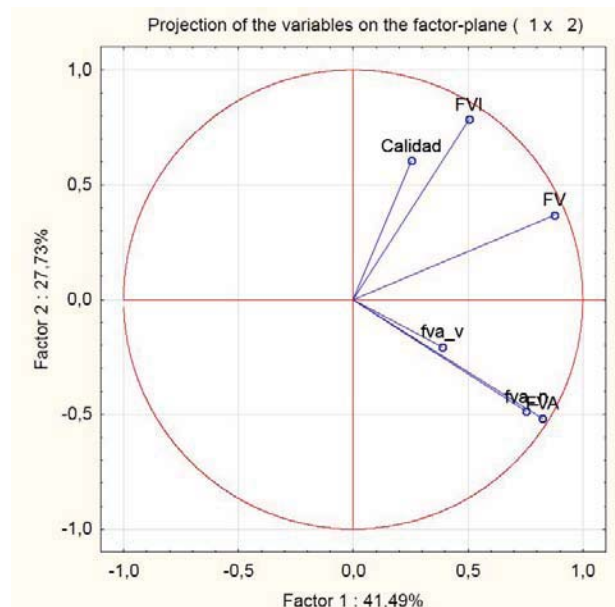
Esta es la matriz de valores propios de nuevo similar:

Value number	Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (combi_norma Active variables only)			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	2,489613	41,49355	2,489613	41,4935
2	1,663794	27,72990	4,153407	69,2234
3	0,977596	16,29327	5,131003	85,5167
4	0,718181	11,96968	5,849184	97,4864
5	0,099126	1,65211	5,948310	99,1385
6	0,051690	0,86150	6,000000	100,0000

*TABLA 9 .MATRIZ DE EIGENVALUES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO.. ELABORACIÓN PROPIA.*

En ambos municipios son la Calidad y la FV los que acumulan la mayor varianza.

De nuevo, la ilustración explica esta tabla:

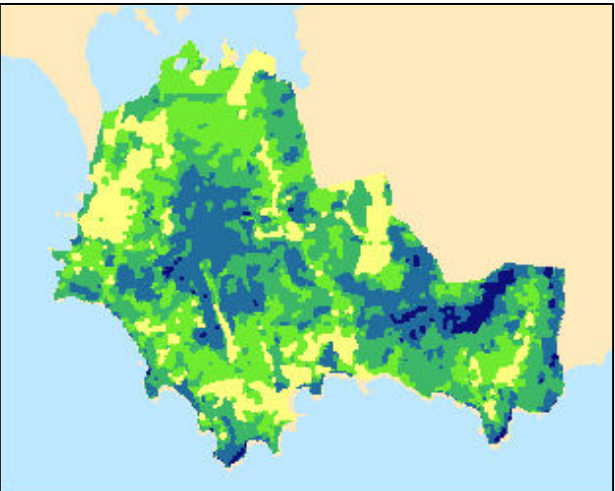


*FIGURA 33.PROYECCIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN DE SANXENXO. ELABORACIÓN PROPIA.*

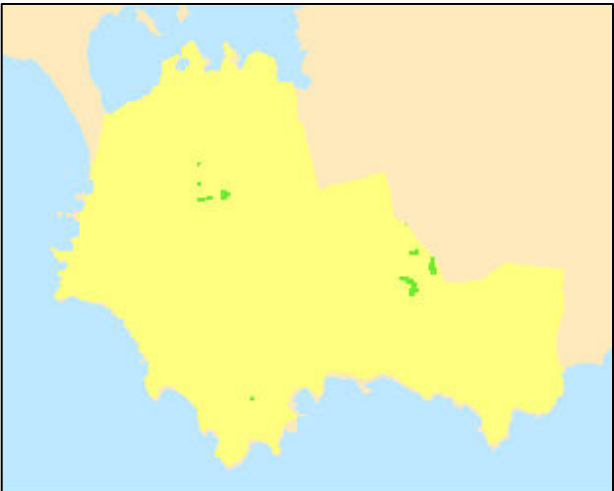
Por un lado, la FVA relacionada con las vías y en mayor medida con los núcleos, por otro, la calidad y la FVI se mantienen su correlación aunque reducida.

### **ANEXO 3. Cartografía resumen.**

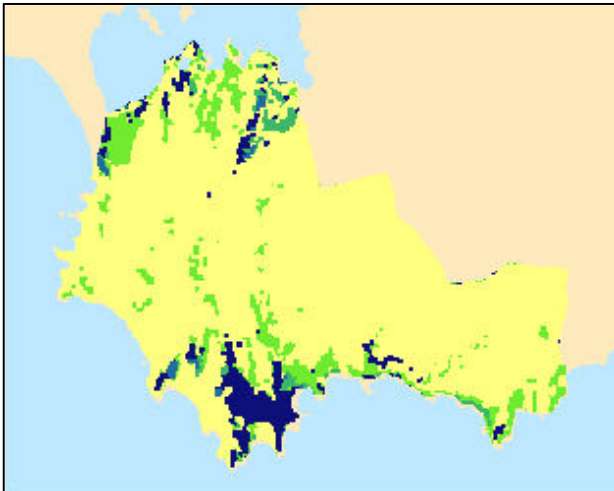
- I. Resumen de valoración paisajística de Sanxenxo mediante SLP.
- II. Resumen de valoración paisajística de Sanxenxo mediante fuzzy logic.
- III. Resumen de valoración paisajística de San Fernando mediante SLP.
- IV. Resumen de valoración paisajística de San Fernando mediante fuzzy logic.



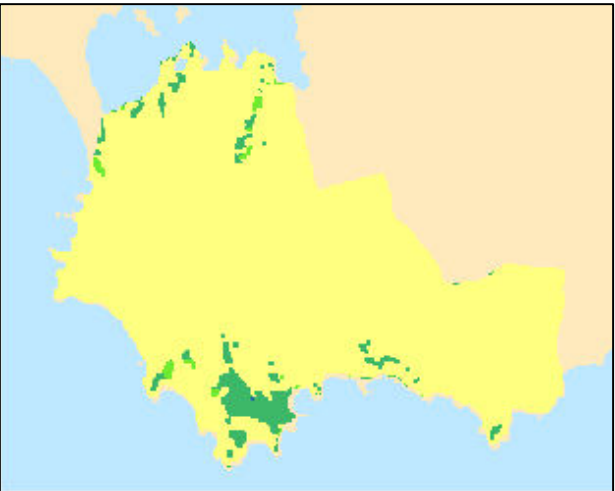
FVI



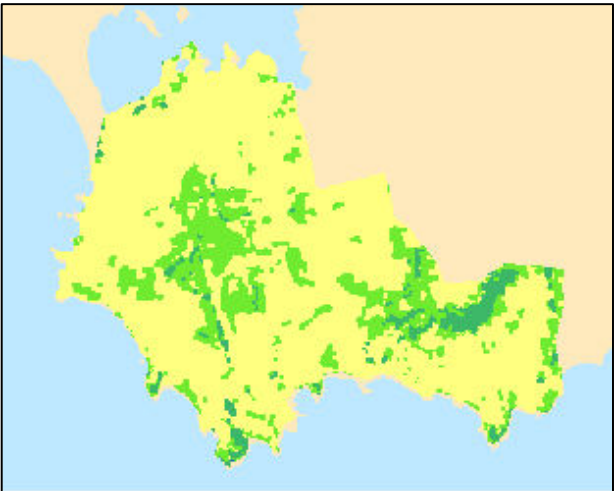
FVA de vías



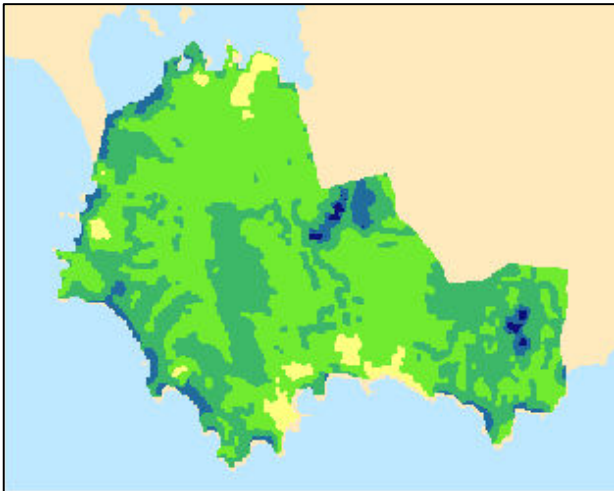
FVA de núcleos



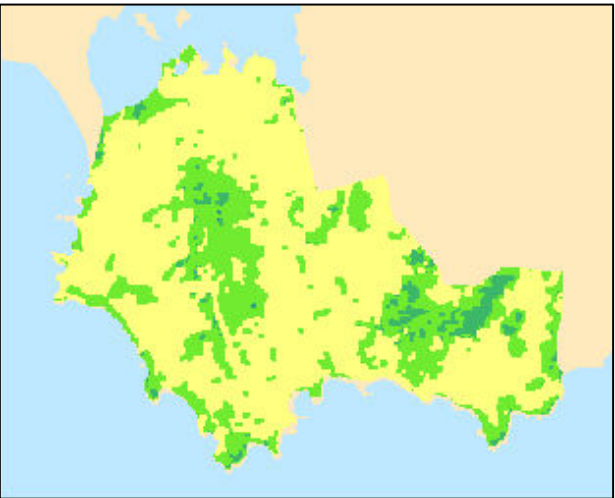
FVA



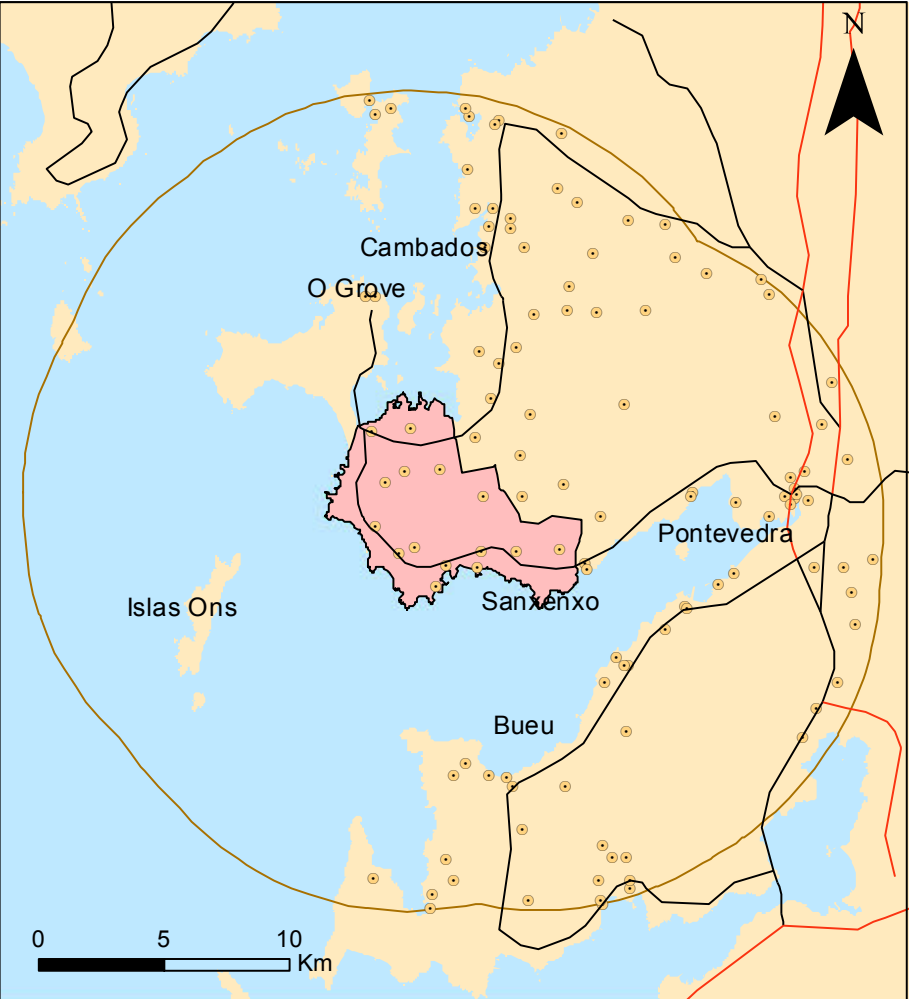
FV



CALIDAD



ZONIFICACIÓN



**Leyenda**

- Núcleos
- Sanxenxo
- Área de trabajo
- Carreteras
- Tipos
- Autovía / Autopista
- Nacional

**Zonificación  
Valores**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

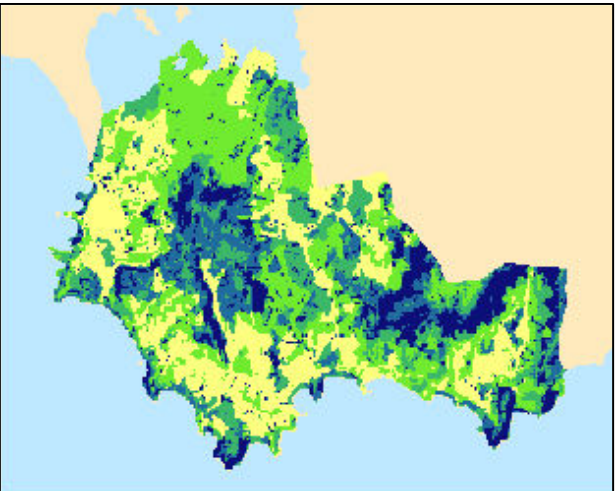
Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Resumen de la zonificación de Sanxenxo mediante SLP

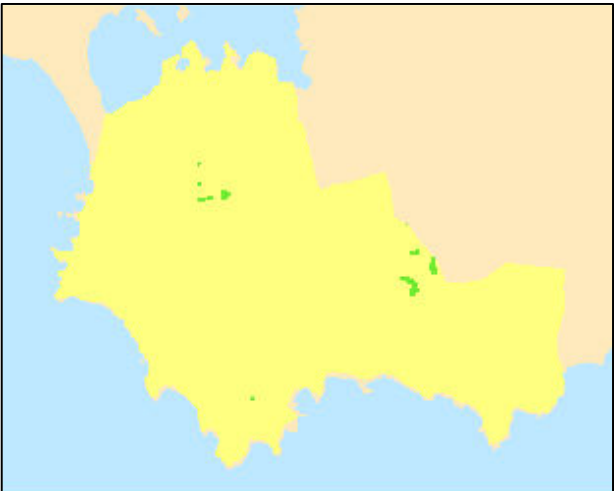
Escala:	Formato:	Proyección:	Fuente:
Varias	DIN A3	ETRS 1989	Elaboración propia / IGN.



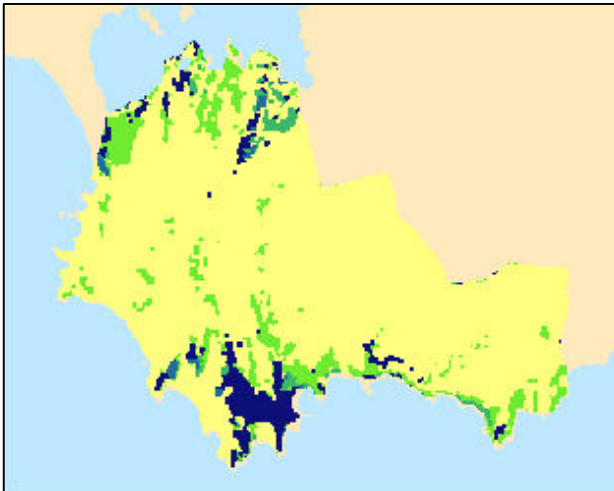




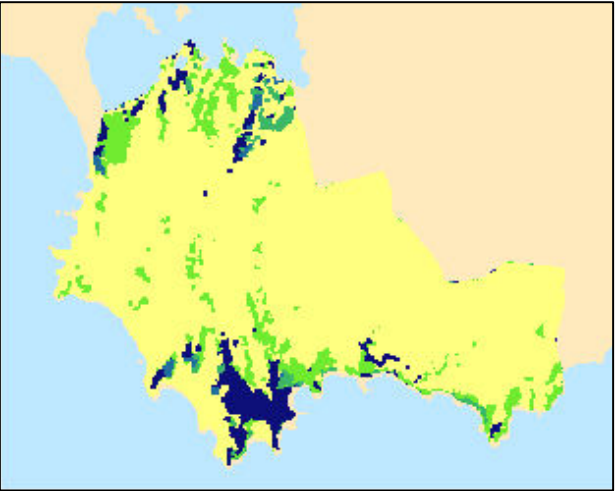
FVI



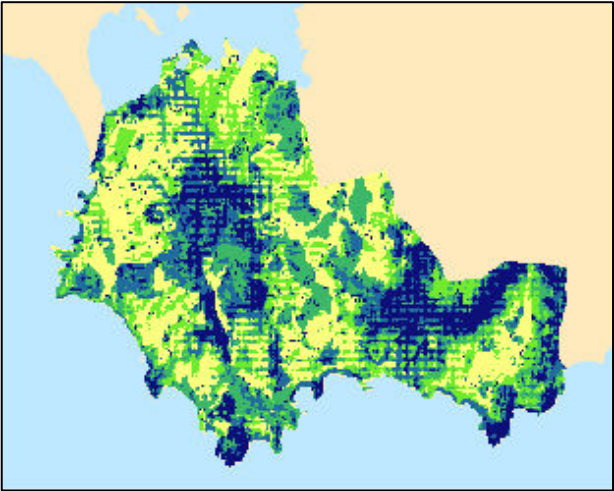
FVA de vías



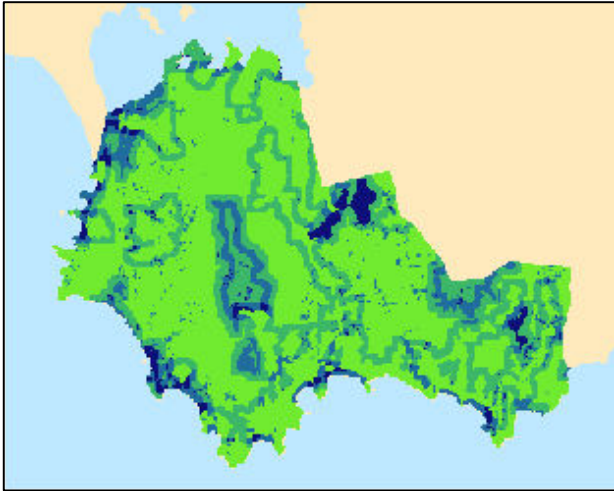
FVA de núcleos



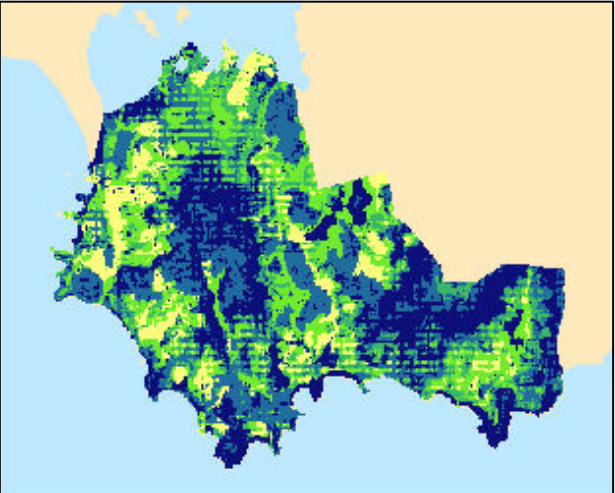
FVA



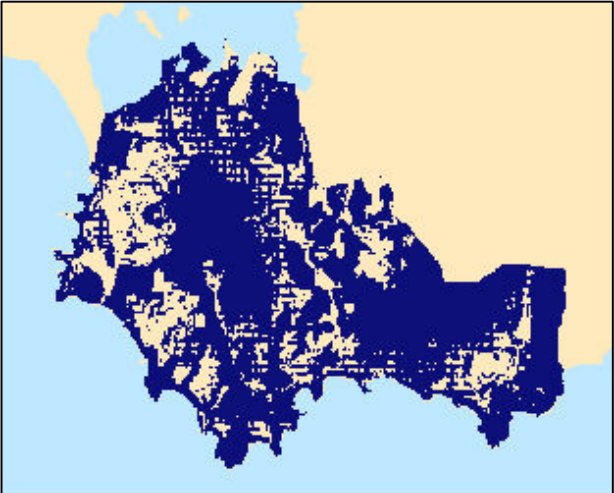
FV



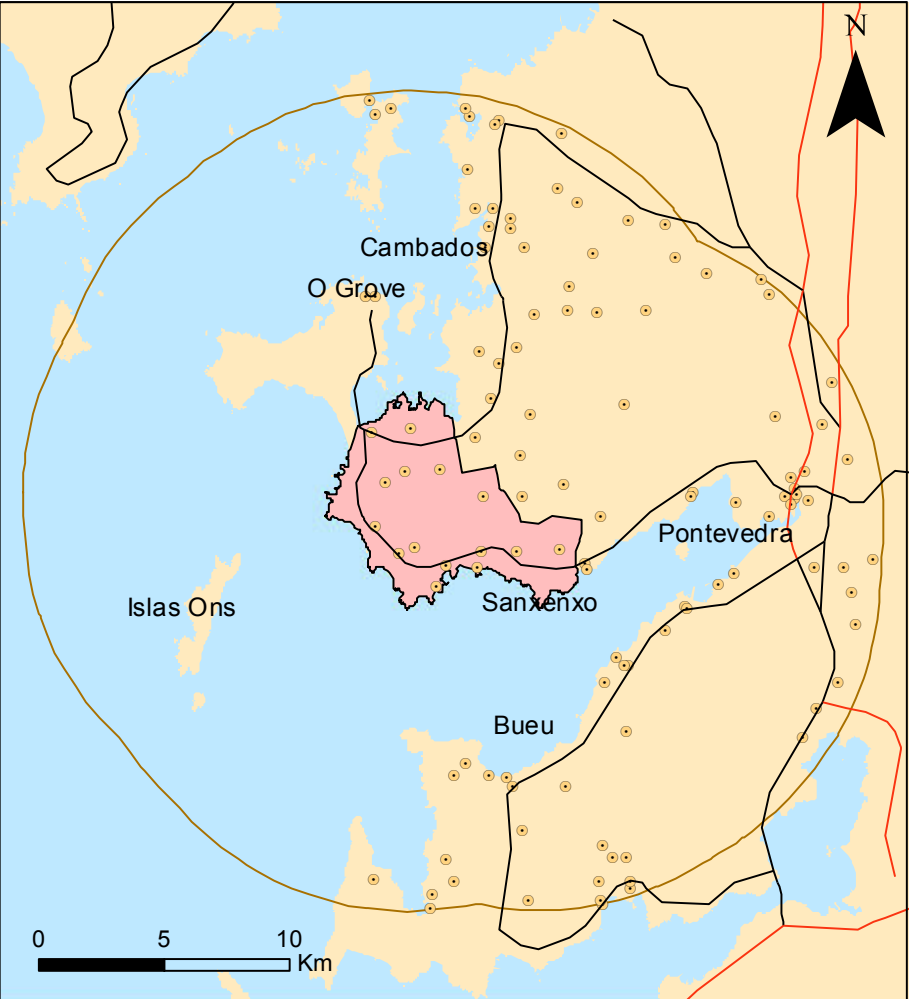
CALIDAD



ZONIFICACIÓN



DEFUZZYFICATION  
ZONIFICACIÓN  
(>0,7)



**Leyenda**

- Núcleos
- Sanxenxo
- Área de trabajo
- Carreteras
- Tipos
- Autovía / Autopista
- Nacional

Zonificación	
Valores	
1	2
3	4
5	

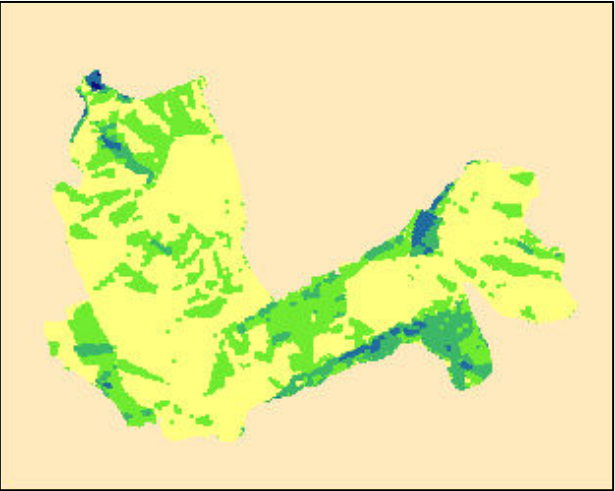
Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Resumen de la zonificación de Sanxenxo mediante lógica borrosa.

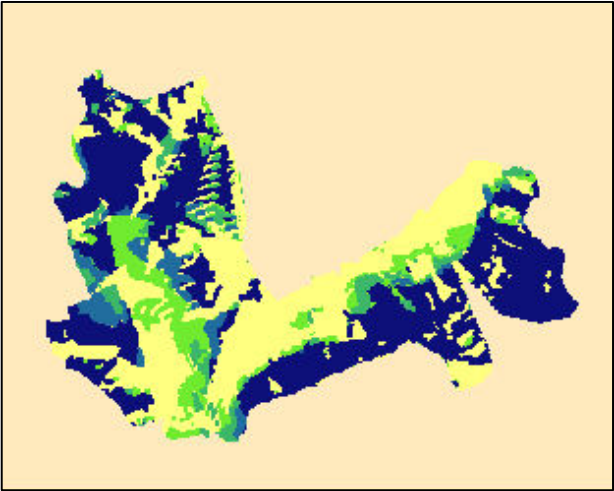
Escala:	Formato:	Proyección:	Fuente:
Varias	DIN A3	ETRS 1989	Elaboración propia / IGN.



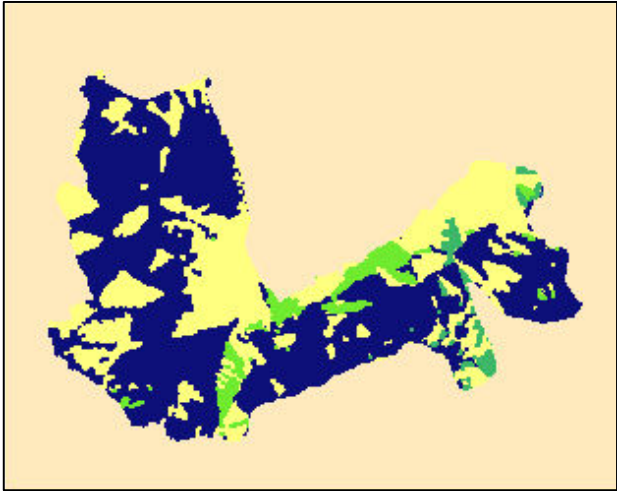




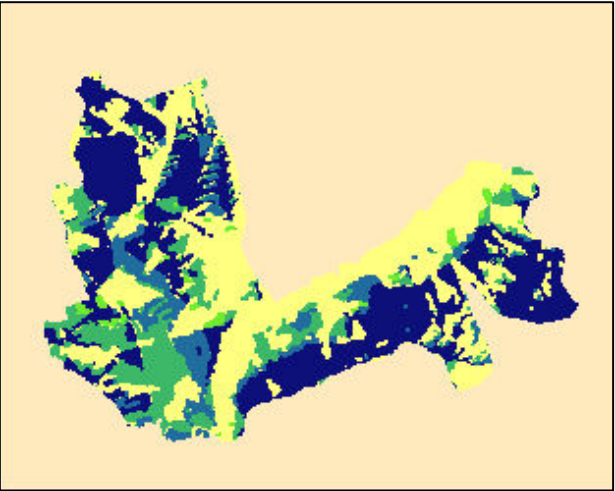
FVI



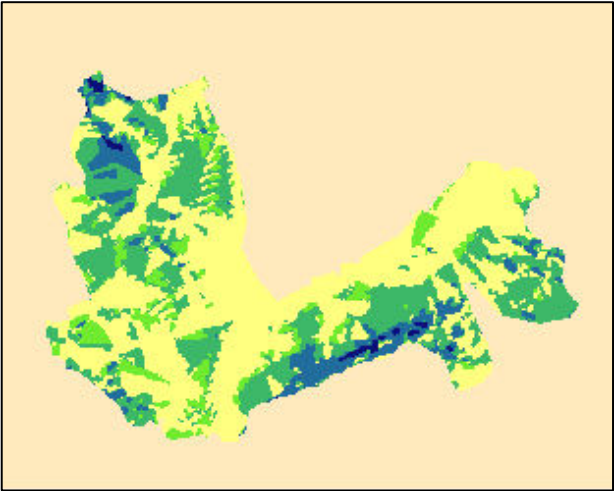
FVA de vías



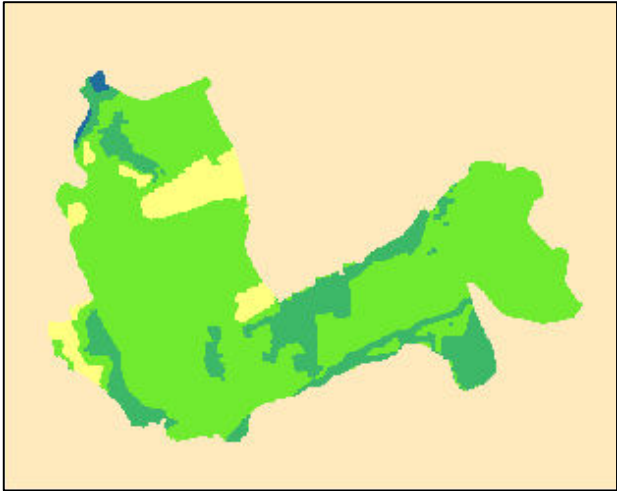
FVA de núcleos



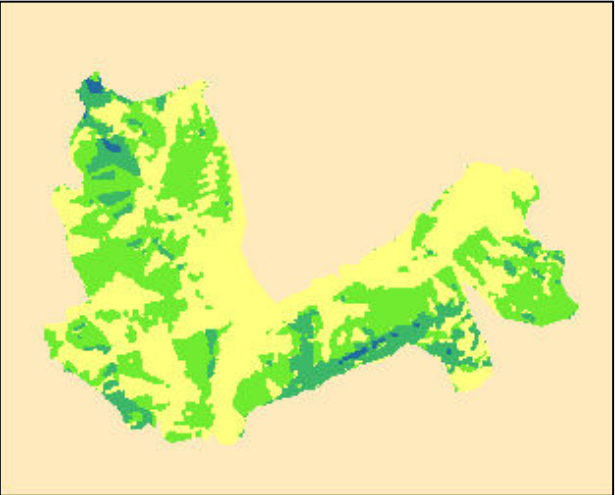
FVA



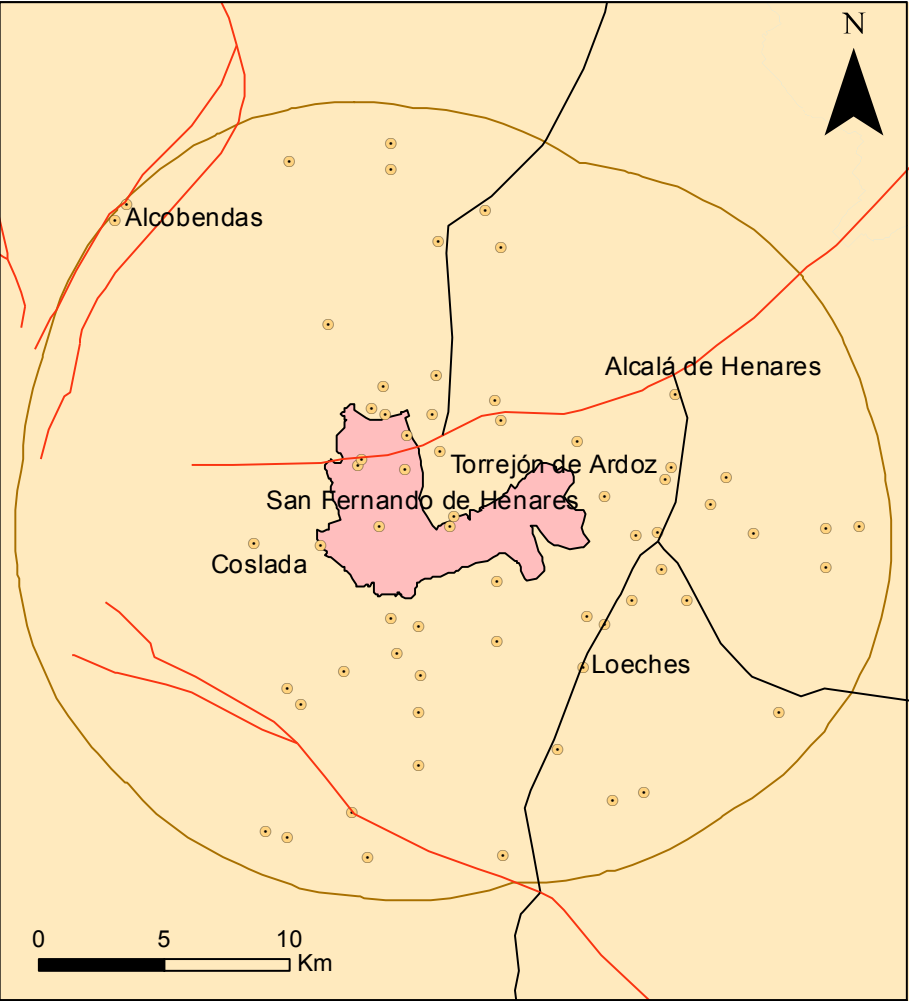
FV



CALIDAD



ZONIFICACIÓN



**Leyenda**

• Núcleos

San Fernando

**Carreteras**

Autovía / Autopista

Nacional

Área de trabajo

**Zonificación**

**Valores**

1

2

3

4

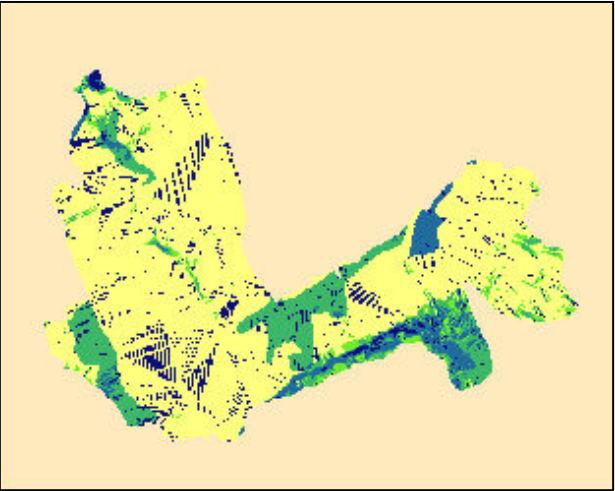
5

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

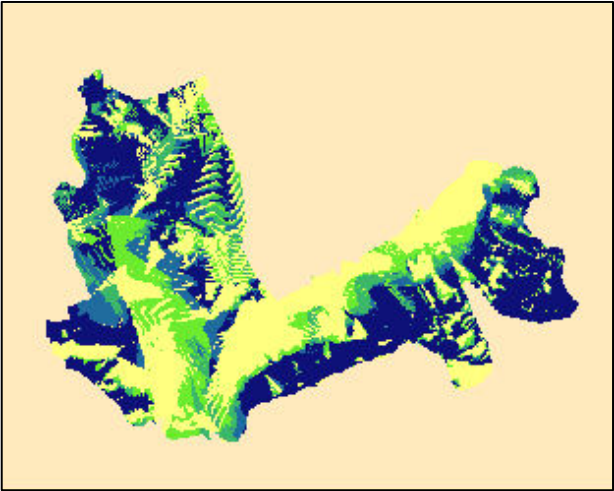
Resumen de la zonificación de San Fernando mediante SLP.

Escala:	Formato:	Proyección:	Fuente:
Varias	DIN A3	ETRS 1989	Elaboración propia / IGN.

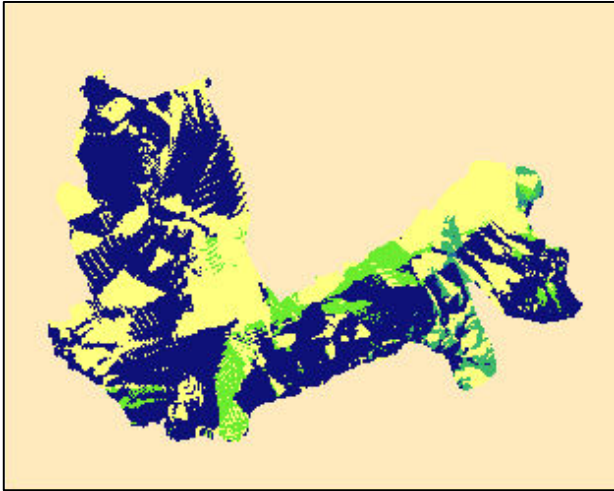




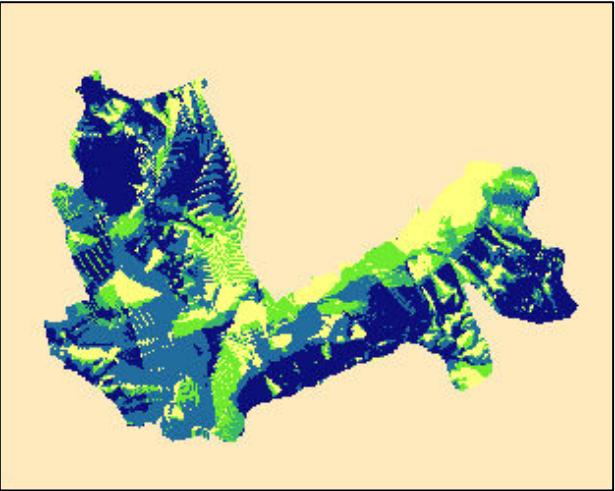
FVI



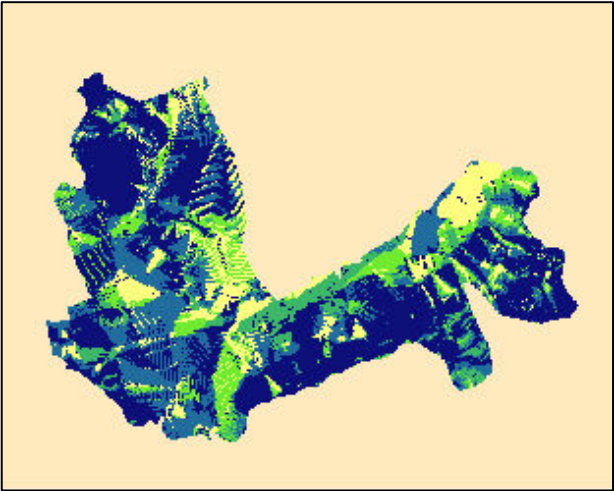
FVA de vías



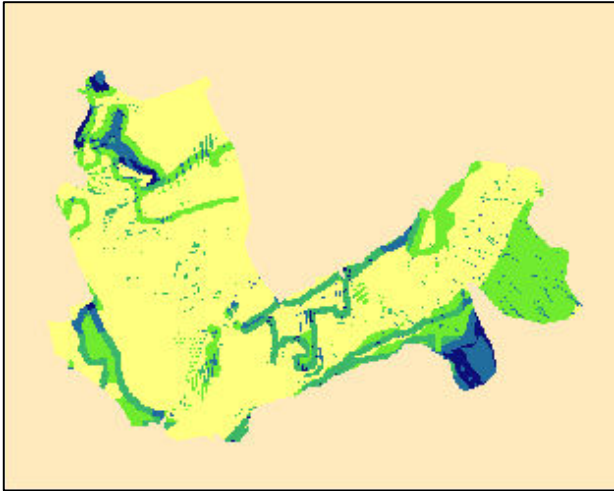
FVA de núcleos



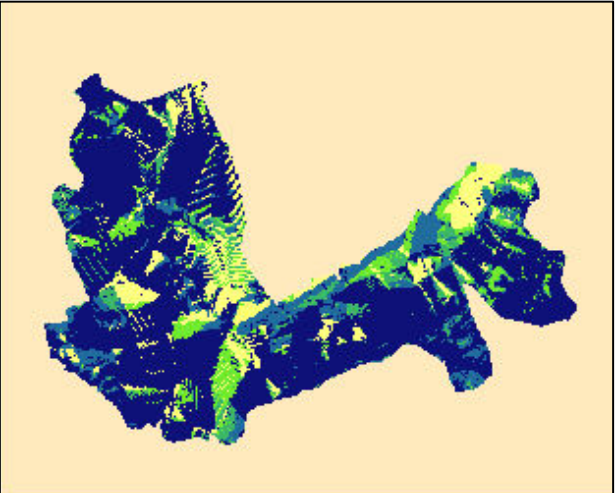
FVA



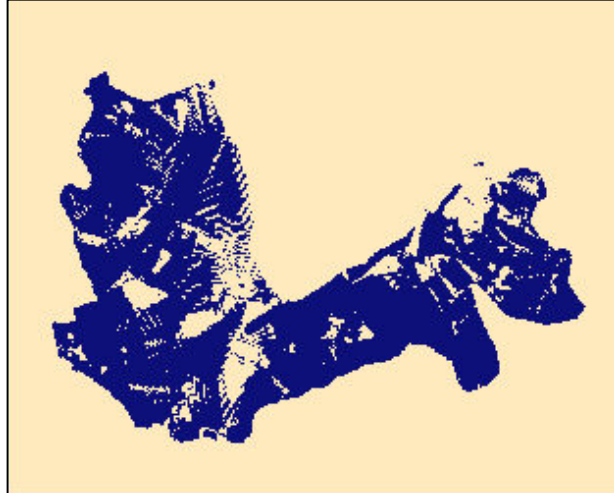
FV



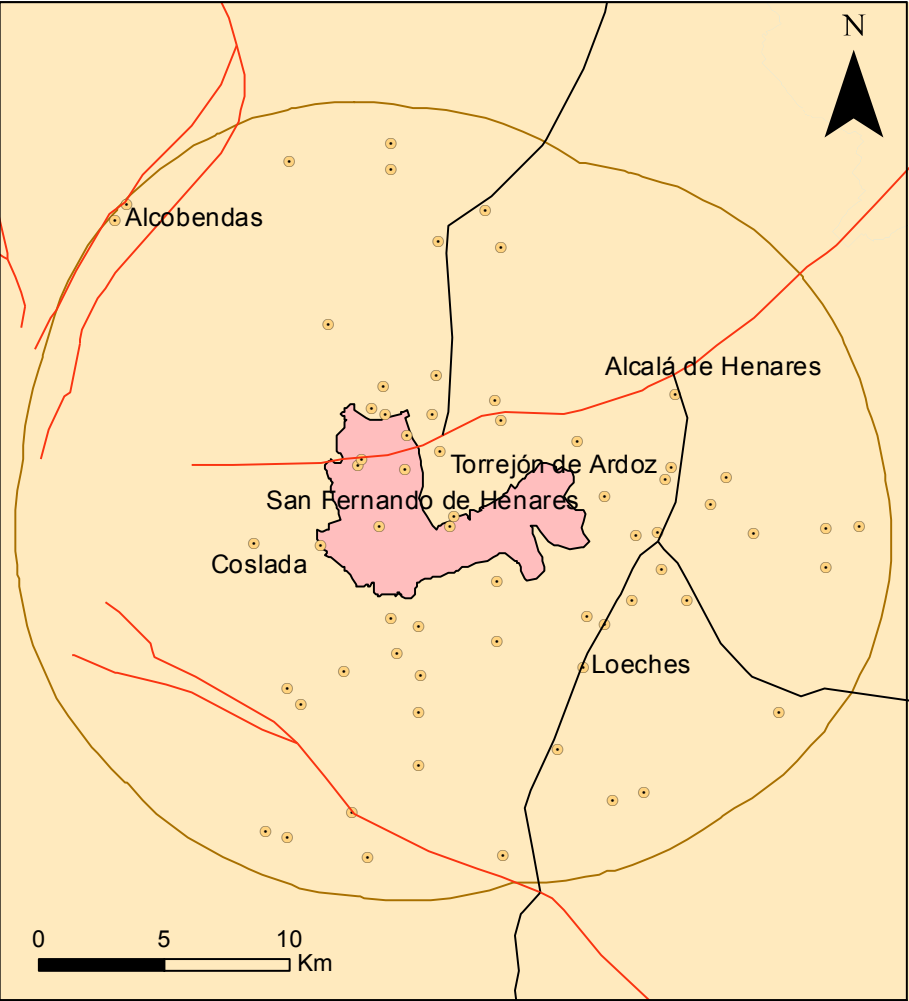
CALIDAD



ZONIFICACIÓN



DEFUZZYFICATION  
ZONIFICACIÓN  
(>0,7)



**Leyenda**

- Núcleos
- San Fernando
- Carreteras
- Tipos
- Autovía / Autopista
- Nacional
- Área de trabajo

Zonificación	
Value	
1	
2	
3	
4	
5	

Calidad y fragilidad visual: MCE, lógica borrosa y GIS.

Resumen de la zonificación de San Fernando mediante lógica borrosa.

Escala: Varias	Formato: DIN A3	Proyección: ETRS 1989	Fuente: Elaboración propia / IGN.
-------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------------------

